CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES DES LAURENTIDES

Le Centre de recherches forestières des Laurentides (CRFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF), au sein d'Environnement Canada. Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CRFL visent à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FOREST RESEARCH CENTRE

The Laurentian Forest Research Centre (LFRC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS), within Environment Canada. The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFRC work at solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

Yield of balsam fir stands in the Gaspé region of Quebec

R. Zarnovican

Information Report LAU-X-64E
1983

Laurentian Forest Research Centre
Canadian Forestry Service
Environment Canada

Copies are available free of charge from:

Laurentian Forest Research Centre
Canadian Forestry Service
Environment Canada
1080, route du Vallon
P.O. Box 3800
Sainte-Foy, Quebec
G1V 4C7

Catalogue No. Fo46-18/64E
ISSN 0703-2196
ISBN 0-662-12976-2

© Minister of Supply and Service Canada, 1983

Cette publication est aussi disponible en français sous le titre "Production stationnelle dans les sapinières en Gaspésie, Québec."

TABLE OF CONTENTS

	Page
LIST OF TABLES	ii
LIST OF FIGURES	iii
ABSTRACT	v
RÉSUMÉ	v
INTRODUCTION	1
Definition of the problem and purpose of the study	2
Biophysical description of the study area	3
MATERIALS AND METHODS	3
Mensurational protocol	4
Ecological protocol	4
Analysis and processing of data	5
RESULTS AND DISCUSSION	6
Description of the forest stands	6
Structures of stands	7
Ground cover vegetation	15
a. Establishment of the ground cover vegetation groups	16
b. Observations on the synecology of the three main ground cover groups	18
Tree height as an index of stand quality	23
Apical growth - A brief examination	23
Determination of the site index curves	25
CONCLUSION	40
ACKNOWLEDGEMENTS	41
REFERENCES	41

LIST OF TABLES

		Page
Table 1.	Stand's composition in the Gaspé region before 1938 (Gobeil 1938)	7
Table 2.	Matrix of simple correlations between the 17 species	17
Table 3.	Eigen values, percentages, and cumulative percentages for K^3 for the principal component analysis species-species	19
Table 4.	Coordinates of 17 species in K^3 space with the fidelity of their projection into K^3	19
Table 5.	Relative presence (%) of five ground cover groups in 52 plots which are identified in terms of the leading group	20
Table 6.	Matrix of simple correlations between the ground cover groups and between these and the main mensurational and soil variables	21
Table 7.	Height growth range for balsam fir per age class of 5 years	28
Table 8.	Parameters in Korf's function for 5 height growth curves in the balsam fir	33
Table 9.	Height growth in balsam fir in typical stands or those dominated by the first vegetation group, expressed in terms of mean height according to age class by intervals of 5 years	35
Table 10.	Height growth in balsam fir in typical stands of those dominated by the third vegetation group, expressed in terms of mean height according to age class by intervals of 5 years	35
Table 11.	Height growth in balsam fir in typical stands or those dominated by the fifth vegetation group, expressed in term of mean height according to age class by intervals of 5 years	36
Table 12.	Wood density in balsam fir according to ground cover	36

LIST OF FIGURES

		Page
Figure 1.	Distribution of research plots according to their basal area and number of stems. Each stand is identified by the rate of occupation of the available space.	9
Figure 2.	Mean space occupied per tree, according to the mean basal area in the 52 plots.	10
Figure 3.	Distribution of the plots according to the number of stems and mean basal area.	12
Figure 4.	Distribution of plots according to their height form and their mean basal area.	12
Figure 5.	Distribution of the number of stems according to dbh class.	13
Figure 6.	Distribution of plots according to the coefficient of asymetry and mean basal area. Each plot is identified by the kurtosis.	14
Figure 7.	Distribution of typical and dominant ground cover groups in the stands according to mean surface per tree and mean basal area.	22
Figure 8.	Height growth of two balsam firs.	22
Figure 9.	Time of passage in the balsam fir as a function of time.	26
Figure 10.	Current annual height growth in black spruce in two different sites.	26
Figure 11.	Height growth range of balsam fir.	27
Figure 12.	Variations in height growth as a function of age.	27
Figure 13.	The relationship between C_2 and H_{50}.	29
Figure 14.	The relationship between C_3 and H_{50}.	29
Figure 15.	Site index curves for balsam fir.	32

		Page
Figure 16.	Current annual height growth curves for balsam fir.	32
Figure 17.	Comparison of site index curves with some heights established by stem analysis.	34
Figure 18.	Comparison of site index curves with data published by Ker (1976) and by Vézina and Linteau (1968).	34
Figure 19.	Height growth according to site index curves of coenological groups 1, 3 and 5 depending on age.	37
Figure 20.	Yield level of fully stocked stands expressed as basal area per hectare according to the mean dbh of the stands.	38

ABSTRACT

The yield of balsam fir stands is examined from results of 52 forest stands in the Joffre Lake area in Quebec's Gaspé region.

Site quality was based on site index (i.e. average height at 50 years) and some stand characteristics. Site index curves were established on the basis of Korf's growth function, from stem analysis of 97 dominant balsam fir [*Abies balsamea* (L.) Mill.] trees.

Even though at 50 years the height-growth range represents a sufficiently large variation reflecting the possibility of several site classes, the comparison of height growth and wood density in different plant groups do not confirm these results. Moreover, the ordination of fully stocked stands according to mean dbh indicate that yield level was the same for the group of sites studied and that site indices reflect nothing more than variations in height growth, which may be explained by the effects of repeated spruce budworm outbreaks.

RÉSUMÉ

Le présent travail examine la production stationnelle des sapinières de Gaspésie, au moyen de 52 stations d'étude provenant du massif boisé du Lac Joffre.

L'évaluation de la qualité stationnelle est faite à l'aide des indices dendrométriques et floristiques, mais principalement à l'aide des indices de fertilité à l'âge de 50 ans. Les indices de fertilité sont établis à l'aide de la fonction de croissance de Korf et des données sur la hauteur et l'âge total à partir d'analyse de 97 sapins [*Abies balsamea* (L.) Mill.] dominants.

Bien que le domaine de la croissance en hauteur à 50 ans soit suffisamment grand pour refléter plusieurs classes de fertilité, la comparaison de la croissance apicale de différents groupements végétaux, ainsi que la comparaison de la densité du bois ne les confirment pas. De plus, l'ordination des stations selon la surface terrière de plein boisement et le dhp moyen met en évidence l'existence d'un seul niveau de production. Les résultats indiquent que la qualité stationnelle de l'ensemble de sites considérés est la même et que les indices de fertilité ne reflètent que la variabilité dans la croissance en hauteur, résultat probable des épidémies répétées de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et de ses conséquences.

INTRODUCTION

The steady growth of the Quebec lumber industry and its demands for timber will inevitably lead to the implementation of intensive management principles. The elaboration of such principles will be determined by more exact data on the yield of forest stands and, above all, by an understanding of the factors that have a direct effect on production (Bolghari and Vézina 1975). The best methods for measuring wood production must be defined. The environmental factors directly influencing production have also to be analyzed, evaluated and, if possible, quantified.

Some of the most important contributions to the study of Quebec's environmental factors have been by Linteau (1957) and Lafond (1967), both based on the application of Cajander's method; and by Jurdant (1964) based on the methods of Braun-Blanquet.

Of these authors, only Linteau and Lafond tried to evaluate yield and ecological factors on balsam fir [*Abies balsamea* (L.) Mill.] stands. Linteau (1957) developed an ecological classification for forest sites for the sector of "North-East conifers". The forest sites were classified on the basis of vegetation composition and soil characteristics. Yield was estimated by site index at 50 years (I50). The parameters were dominant height and total age. On the basis of the above, each stand was assigned a site index. The set of site index curves represents an "anamorphic" model (Tesch 1981) and it was used with two species, black spruce [*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.] and balsam fir.

Lafond (1967) also studied the relationship between site and volume production. The growth habitat was identified and classified on the basis of shrub and herbaceous vegetation to define forest types to which the author assigned site classes. The above cited works show that most of the effort was geared towards studying vegetation and soil rather than towards an evaluation of stand yield.

Environment Canada | Environnement Canada
Canadian Forestry Service | Service canadien des forêts

Yield of balsam fir stands in the Gaspé region of Quebec

R. Zarnovican

Environment Canada | Environnement Canada

rmation Report LAU-X-64E

rentian Forest Research Centre

0089234I VOL ISS 64 1983
EXC # 001

INFORMATION REPORT (LAURENTIAN FORE
ST RESEARCH CENTRE)
OOFF

Definition of the problem and purpose of the study

The capacity of a stand to produce wood is evaluated in terms of the speed of production by means of various indices. This aspect was studied by Decourt (1973) who recognized five important types: climatic, vegetation, yield and ecological indices, plus combinations of these. Generally,site quality of even - aged stands is usually expressed by average height at a given age, known as the site index. Height is chosen because it depends very little on the stand density. This is known as the "extended Eichhorn's law". However, Assmann (1955, 1961, 1965, 1974) showed that the relationship between height and total yield exists if the production level is the same.

There are two principal methods for obtaining sets of site index curves: the spatial method, with anamorphic curves and the temporal method, on the basis of stem analysis, with polymorphic curves (Tesch 1981). The temporal method was preferred by Curtis (1964), Heger (1968), Beck (1971), Carmean (1979), and Griffin and Johnson (1980).

Griffin and Johnson (1980) evaluated the yield of balsam fir stands in Maine using polymorphic site index curves. To our knowledge, this site index has never been established for conifer stands in Quebec, particularly those in the Gaspé region. To validate the effectiveness of various site indices, stand structure will be examined, particularly the evolution in time of the "diametral" structure. The relationship between the number of stems and average dbh will be examined and the results compared with those of other authors, to determine whether the group of 52 research stands can be considered as a growth series as defined by Turnbull (1963)[1]. Then vegetation in the stands will be studied and classified and the coenological groups and their value in predicting conifer stand yields will be established.

---

[1] Population dynamics in mixed forest stands. A system of mathematical models of mixed stand growth and structure. Unpublished thesis, Univ. of Washington, 186 p.

Nevertheless, emphasis will be on the examination of height growth in balsam fir and the main factors influencing this growth, to establish polymorphic site index curves. We will examine the practical value of floristic and site indices, by comparing our results to those obtained from dry wood density, and we will also examine the yield level of 52 research stands.

Biophysical description of the study area

The area studied is around Lake Joffre, south of the main chain of the Shickshock Mountains. It is a 45 km^2 rectangle straddling the townships of Joffre and Dunière, Matane County, between 48°43'30" and 48°46'30" North latitude and between 66°34'00" and 66°40'30" West longitude. The altitude varies between 290 and 580 m, and the relief is hilly with sharp slopes in the sections of old alluvial erosion.

Most of the substrate in the territory is a finely grained limestone with few dolomite outcrops. The surface layer consists of 2 to 5 m of saprolite. Glacial drift is practically non-existent, rarely going above a few decimetres (Lebuis and David 1977).

The Shickshock Mountains have a mean annual temperature between 0 to + 2°C, with an annual total precipitation between 1016 and 1219 mm, about half falls as snow (380 to 500 cm) (Gagnon 1970). The growing season does not exceed 80 days per year. The massif forms part of section B.2 - Gaspé (Rowe 1972).

According to the Canadian Commission on the Soil Sciences (CCP) (1978), the soil is classified as subgroup of Orthic Humo-Ferric Podzol; it has a loamy texture and lithic contact generally over one metre. The soil is acid, with the exception of some dolomite profiles where the reaction was neutral. The base saturation barely surpasses 8% in the B horizon.

MATERIALS AND METHODS

Fifty-two circular research plots of 500 m^2 each were established. The radius of the plot was adjusted depending on the slope.

The sites were chosen according to the homogeneity of the following:

- ecological criteria, such as slope, exposure, position on the slope, and drainage, which may have an influence on growth;
- mensurational criteria, such as the state of the tree cover, the presence of disturbances, etc...

The stands were established along transects, where the orientation corresponds to recognizable ecological gradients obtained from black and white aerial photographs at a scale of 1:15 000. Organic deposits or recently cut surfaces were not sampled.

Mensurational protocol

In each stand, starting at 4 cm dbh, stems were counted by intervals of 2 cm; 2 to 4 trees were cut. Trees were chosen among those that did not show any visible defects in the crown or trunk and whose dbh was closest to the dbh at the 95 percentile on the cumulative curve of the number of stems. The trees felled were cut into sections 1 m long, except for the stump which measured 80 cm. The first sample was taken from 40 cm above the ground. Samples were taken from 111 dominant balsam firs and 23 white spruces and they were subjected to a complete stem analysis.

Ecological protocol

Each stand was described on the basis of three series of observations: physical habitat, vegetation of the herbaceous strata, and soil. The physical habitat was described in terms of slope, exposure, the shape of the slope, the position on the slope, and the microrelief.

The linear method (Godron 1971)[2] was used to sample the vegetation of the lower strata. The experimental device used is shaped like a cross, systematically oriented towards the cardinal points and consisting of two perpendicular cords divided into ten sections of 1 m each. The point of intersection of the two cords corresponds to the centre of the

---

[2] Essai sur une approche probabiliste de l'écologie des végétaux. Unpublished thesis, Univ. of Montpellier (France), 245 p.

stand. The frequency of each species above each section was recorded. The stand composition was analyzed according to the proportion of the different species represented, in percentages of the total basal area of the stand. The soil was studied in a profile located near the centre of the stand and described according to the criteria established by CCP (1978). Our description included thickness, limits, color, pH, consistency, texture, structure, and the presence of rock fragments in the horizons. Finally, we took 5 samples of humus per plot in a systematic fashion: the samples were collected at the mid part of 5 radius separated by 72°, the first radius was oriented northward.

Analysis and processing of data

Mensurational data is obtained exclusively on the basis of stem-analysis. This technique is very effective and it has been used for a long time (Guttenberg 1915). It is well adapted to growth analysis and is especially useful in establishing site index curves (Curtis 1964; Guttenberg 1915; Schwappach 1902; Duchovnikov 1972). We used the methodology of Korf (1953) to carry out the stem analysis and establish the mensurational data: age, height, dbh, basal area, volume, form height, and form coefficient. The site index curves were established using methodologies developed by Panek (1976), and Tveite (1969). Korf's growth function served for the mathematical expression of growth (Zarnovican 1979). In this method parameters are defined using the "PAR" program developed by Biomedical Computer Programs, P-series (Dixon 1977).

The analysis of vegetation in the lower strata and especially the establishment of the ground cover groups, were done by means of a principal component analysis and calculations were obtained using the software SACADOS (Boudoux and Bonenfant 1979).

Soil analysis were made using the methods recommended by the Commission on the Soil Sciences (McKeague 1977). The pH total nitrogen content, humic and fulvic acids contents of the hummus were determined. The texture of the mineral soil was expressed as medium diameter of parti-

cles. Wood density was studied on the basis of three samples taken from each third of the tree, which were dried to a constant weight and then measured to determine the specific weight.

RESULTS AND DISCUSSION

Description of the forest stands

In the 52 research stands around Lake Joffre, balsam fir occupies an average of 83% (s_x = 10%) of the basal area; white spruce occupies 14% (s_x = 9%), and other species (white birch [*Betula papyrifera* Marsh.] and black spruce) appear sporadically as 2 to 3% of the basal area.

There have been no historical studies to determine that this composition is climacic in origin. The Inventory Service of the Ministry of Energy and Resources of Quebec has no data prior to 1965, thus it may be useful to review forest composition data for the Gaspé region published by Gobeil in 1938.

Before 1938 the proportion of white spruce and deciduous species was 3 times greater than today (Table 1). The composition of these stands changed not only because of the 1935 and 1940 outbreaks of spruce sawfly [*Gilpinia hercyniae* Htg.] and white spruce dendroctonus [*Dendroctonus piceaperda* Hopk.] (Gobeil 1938; Martineau 1943) and the decline of white birch around the same period (Martineau, personal communication), but also because of severe harvesting. Balsam fir gained ground to the detriment of white spruce and white birch, however, balsam fir has been attacked by the spruce budworm [*Choristoneura fumiferana* (Clem.)]. Considering these facts, it would be presumptuous to try to establish the climacic composition on the basis of present undercover surveys. Balsam fir stands should be developed on the basis of conversion, to form more resistant stands, where the composition will be determined from basic historical and ecological studies.

Table 1. Stand's composition in the Gaspé region before 1938 (Gobeil 1938)

Water shed	Percentage in volume				
	Spruce	Fir	Cedar	Pine	Deciduous
Matane Cap Chat Sainte-Anne Marsouis Madeleine Darmouth York Saint-Jean Malbaie Grande Rivière Grand Pabos Petit Pabos Duval Hall Bonaventure Petite Cascapedia Grande Cascapedia Saumons Nouvelle Escuminac	33	49	1		17
	36	52	1	1	10
	41	38	3	1	7
	27	37	5	4	27
	27	36	2	1	34
	39	50	1	-	10
	20	52	4	1	23
Total	34	46	2	1	17

Details for deciduous trees: White birch 51; Poplar 34; Yellow birch 11.

Structures of stands

There are great morphological similarities between balsam fir and white spruce (Zarnovican 1982). A linear model has been established for predicting the natural stocking of the 52 research stands. Therefore diametral structure of the stands was approached through an examination of their stocking. Figure 1 shows the distribution of the 52 stands according to basal area and number of stems per stand. It demonstrates not only the isolines joining those stands with the same stocking, but also, comparison data from yield tables for balsam fir produced by Ker (1976), Vézina and Linteau (1968), and Boudoux (1978). Also included are Hauser's data from

Korf (1953) for pectinate fir. In spite of evident variations, all the stands form a logical distribution which means that for the same stocking and increased number of stems, the basal area decreases, confirming results reported by the authors cited above. If we compare our maximum occupation rate of 84%, we find a remarkable similarity between our results and those of Ker (1976) while the stocking, reported by Vézina and Linteau (1968), corresponds to about 70% of ours. The comparison also stresses the remarkably lower stocking reported by Boudoux (1978). Further comparisons are made in Figure 2 where 52 stands have been classified according to the available area per tree and per stand and according to the average basal area of the stands. Furthermore, we have included similar data reported by Ker (1976), Vézina and Linteau (1968), and Boudoux (1978). The relationship between available area and average basal area is closer than that illustred in Figure 1, and we can also verify the similarity that exists between our data and Ker's (1976). To evaluate density of our stands we ordinated them according to the number of stems and average basal area. Figure 3 shows our results and those of Ker, Vézina and Linteau, and Boudoux. These observations reveal the existence of a very close relationship between the number of stems observed and the mean basal area of the station. This relationship may be very well adjusted by means of a negative exponential function:

$$n = 242.71\ st_{mean}^{-1.028095}$$

with a determination coefficient R^2 of 0.965 and the standard error of the estimate is 18.1%. Again, note the remarkable similarity between Ker's data and ours. Contrarily, it is surprising to find a linear relationship with Boudoux's results. Comparison of the stocking and density observed around Lake Joffre and similar data reported by Ker, Vézina and Linteau, and Boudoux, reveals that the natural stocking is variable (Zarnovican 1982); however, it is possible to correct this figure by using the maximum rate of utilization of the available surface to reveal the yield level of the research stands. Our results point to only one yield level for all the 52 stands.

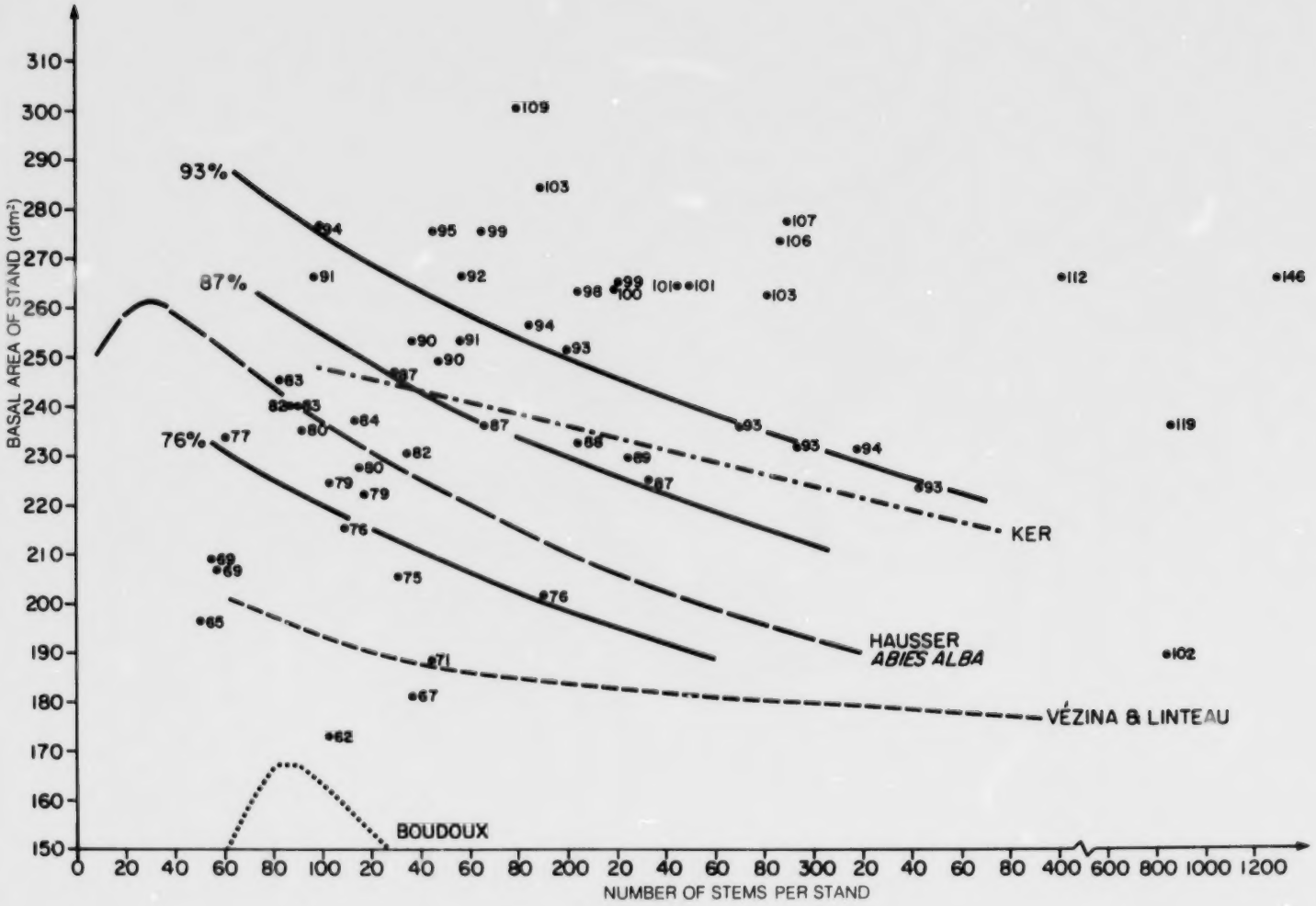

Figure 1. Distribution of research plots according to their basal area and number of stems. Each stand is identified by the rate of occupation of the available space.

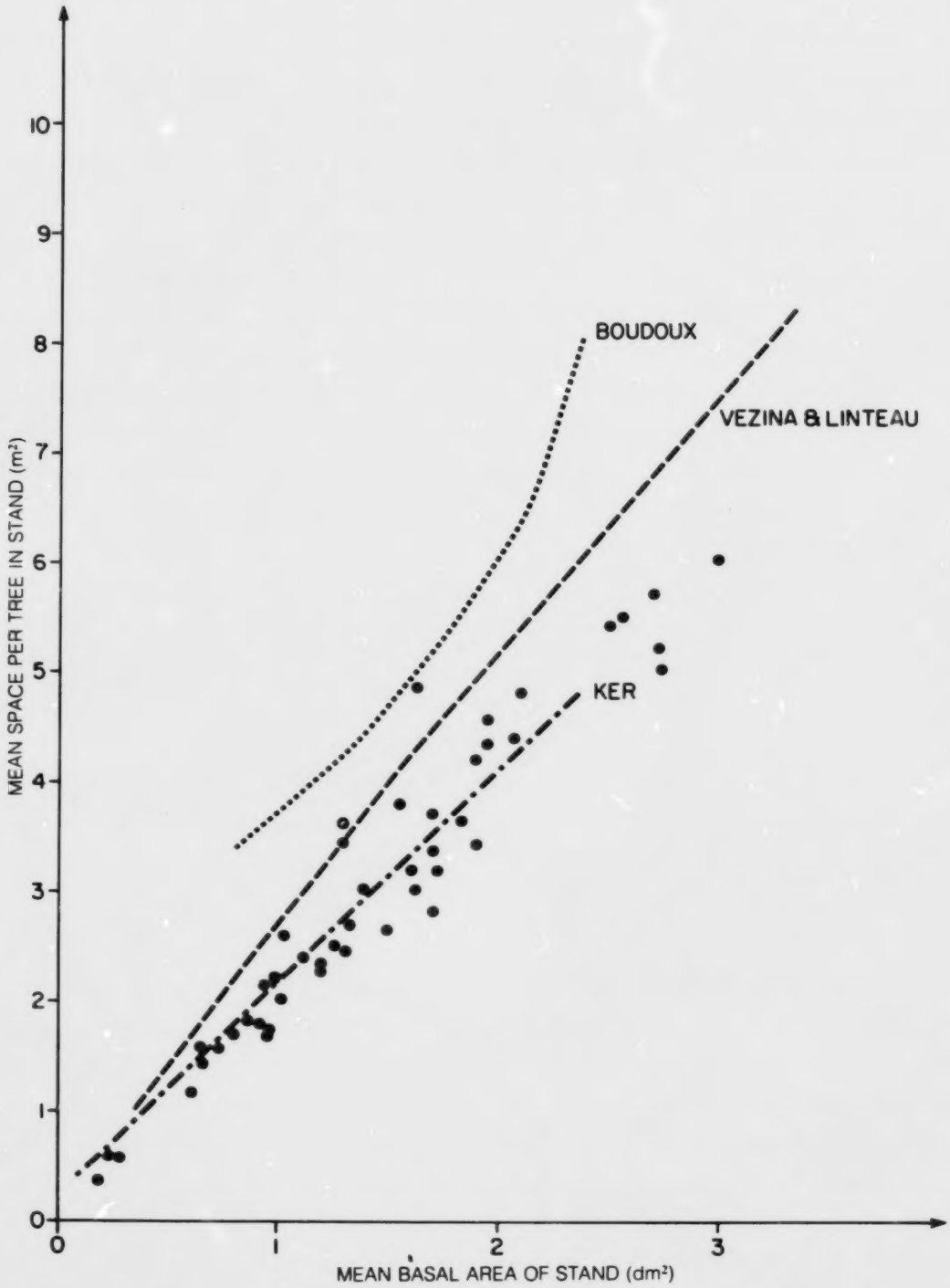

Figure 2. Mean space occupied per tree, according to the mean basal area in the 52 plots.

An important characteristic in determining yield is the height form of stands. The height form represents the ratio between standing volume and corresponding basal area. This concept of height form was introduced in Quebec by Popovich (1974), for the evaluation of yield in white spruce plantations. He called it "volume per unit of basal area". For the wooded area, distribution of research stands according to height form and average basal area (Figure 4) reveals a close relationship between the height form and basal area, this can be adjusted by means of an exponential function:

$$h_{red} = 5.5486\ st_{mean}^{0.32906}$$

which gives the following results: the determination coefficient is 0.956 and the standard error of the estimate is 4.4%. Contrarily to the above observations, Figure 4 reveals a similarity between our observations and data reported by Vézina and Linteau (1968); however, Figure 4 reveals that Ker's height form is clearly higher than ours for an average basal area of between 0 and 2 dm^2 and that it levels out after 2 dm^2. On the basis of the results obtained from the classification of the research stands as a function of basal area, the number of stems and the height form (Figures 1, 2, 3, and 4), it is natural to consider that the 52 stands represent a growth series. Thus, it seems logical to examine the evolution of the diametral structure of stands over time. This examination will reveal whether an asymmetrical diametral structure will persist over time or whether, the balsam fir stands will tend to form a normal diametrical distribution. Figure 5 shows the distribution of several stems per diameter class for two stands. On the left of the figure the distribution corresponds to the young stand, where the mean arithmetical dbh is 5.6 cm. This is a negatively skewed distribution, with a skew coefficient of 1.4 and a kurtosis of 1.1 (values calculated for the real number of stems per dbh class). The distribution on the right of the figure represents an older stand with an almost normal distribution, where the mean arithmetic dbh is 18.2 cm, the skew coefficient is 0.1 and the kurtosis is -0.009. To find

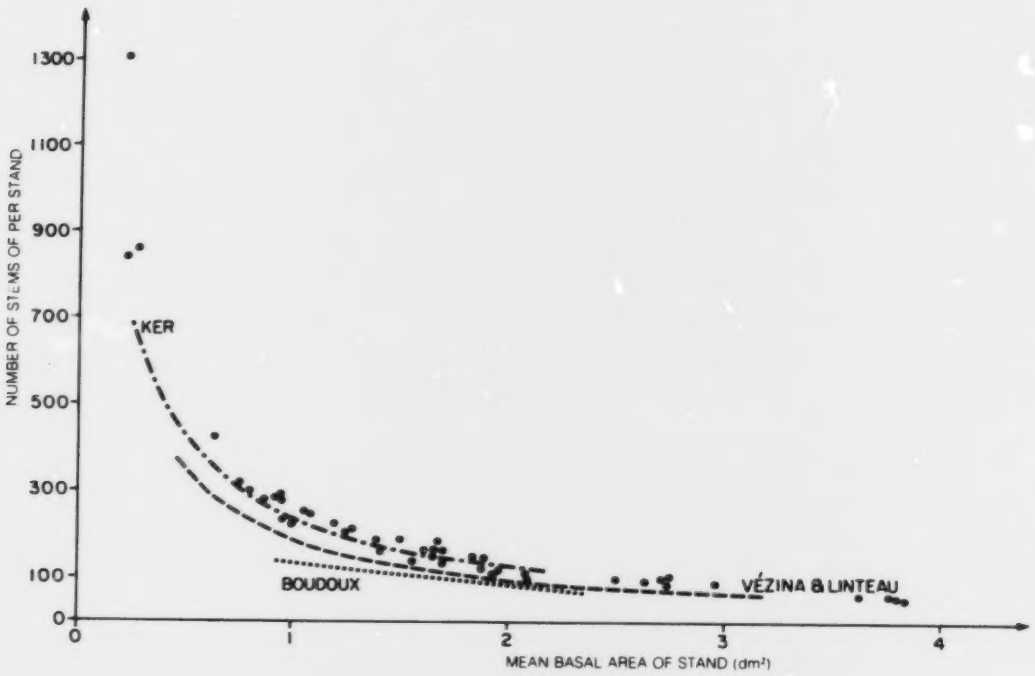

Figure 3. Distribution of the plots according to the number of stems and mean basal area.

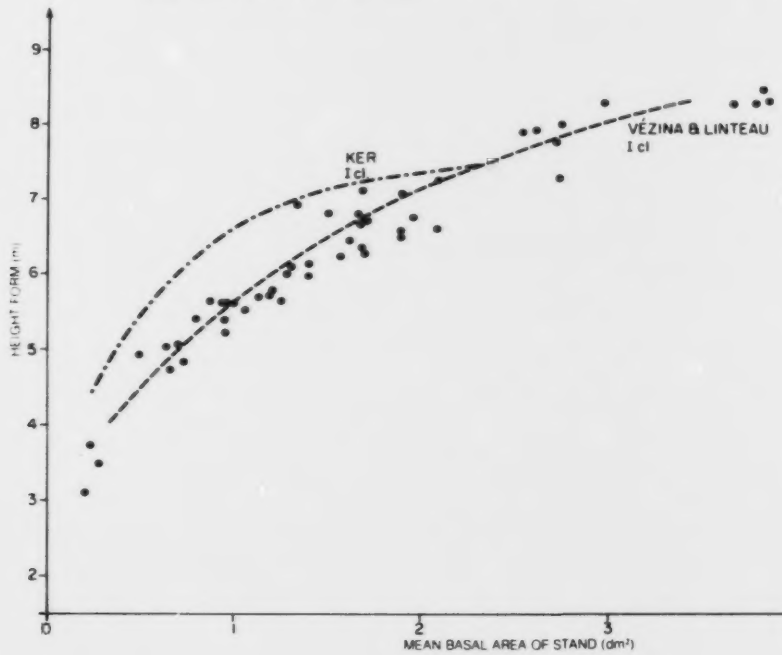

Figure 4. Distribution of plots according to their height form and their mean basal area.

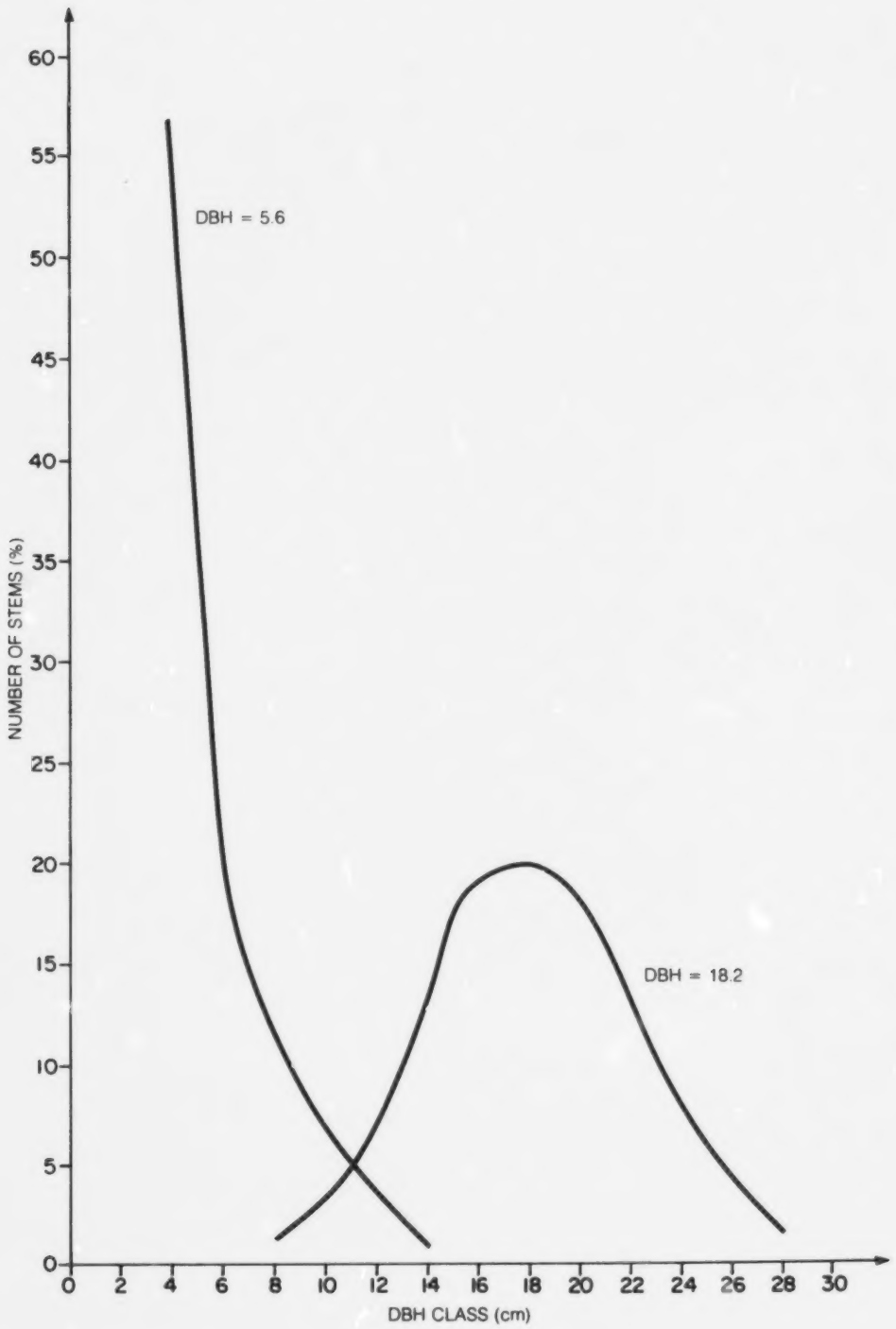

Figure 5. Distribution of the number of stems according to dbh class.

Figure 6. Distribution of plots according to the coefficient of asymetry and mean basal area. Each plot is identified by the kurtosis.

out, at least in part, what is the relative tendency in the diametral distribution of conifer stands over time, we classified the research stands as a function of the skew coefficients and their average basal area. This classification is illustrated in Figure 6, where we have included not only the coordinates (skew in relation to the average basal area), but also the value of the kurtosis. This figure reveals that, over time, balsam fir stands generally tend to go from a negatively skewed, leptokurtic distribution towards a normal or positively skewed, flatter distribution. This confirms Jurdant's (1964) observations that old forests tend to take on the aspect of homogeneous stands, by normalizing themselves over time to form single stratum forests.

Ground cover vegetation

One of the bases for evaluating the site quality of balsam fir stands in Quebec is their ground cover composition. The works of Lafond (1967), Linteau (1957), and Jurdant (1964) reveal the importance granted to the ground cover in relation to the upper layer for the definition of site quality in different stands and even for their classification into different groups.

On the basis of the ground cover composition of balsam fir stands two site classes are distinguished:

- the first class is attributed to forest stands with a dominance of herbaceous, broad-leaved plants and ferns;
- the second class is attributed to forest stands with a dominance of feather mosses in the lower strata.

Lafond and Linteau's classifications served as the basis for many studies on stand yield in Quebec, especially those in the vicinity of Lake Joffre, (Bolghari and Vézina 1974; Veuilleux and Sheedy 1978; Villeneuve 1971). Furthermore, the significance of the vegetation composition of conifer stands on productivity of fir forests in the Montmorency Experimental Forest, has been expressed by Jurdant (1964): "the moss cover is thicker as the site is poorer". It was important to understand the

vegetation composition of our research stands, as expressed by the main coenological groups, and to determine if this composition had a significant effect on yield.

a. Establishment of the ground cover vegetation groups

Floristic data on all stands, expressed in terms of frequency of appearance, were converted into relative frequencies to form the basis for establishing the coenological groups. Species present in only three of fewer stands were not included in our calculations. Thus, only 17 species were retained. Interspecific relationships were evaluated using simple correlation coefficients (Table 2), which were used to classify species into groups by means of a principal component analysis. Table 3 shows the parameters of the analysis for the first three components. The coordinates of the 17 species in space K^3 are shown in Table 4. Even though the cumulative percentage of the total variation explained by the first three components is sufficiently large, the fidelity of the representation of each species in reference to space K^{17} is included (Table 4). The principal component analysis led to the identification of five ground cover groups:

1st group
Pleurozium schreberi
Ptilium crista-castrensis
Hylocomium splendens
Linnaea borealis

2nd group
Coptis groenlandica
Streptopus roseus
Chiogenes hispidula
Maianthemum canadense

3rd group
Dryopteris spinulosa
Clintonia borealis
Oxalis montana

4th group
Trientalis borealis
Aralia nudicaulis
Acer spicatum
Cornus canadensis

5th group
Litter
Hylocomium umbratum

It is important to understand the practical value of each of the five coenological groups, through an evaluation of their relative importance in the floristic area available in each of the research stands. Their importance was measured by means of the ratio between the average frequency of the group and the sum of the average frequencies of the five groups. Results of the calculation of the relative importance of the groups are shown in Table 5. An examination of this table shows that coenological

Table 2. Matrix of simple correlations between the 17 species

	Species	Species															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	*Pleurozium schreberi*	x	.65	.63	.05	-.30	-.20	-.16	.32	.26	-.14	.08	-.15	.20	.08	.05	-.24	-.43
2	*Pitlium c.-castrensis*		x	.58	-.13	-.25	-.15	-.29	.31	.47	.00	-.07	-.06	.04	.03	.14	-.23	-.36
3	*Hylocomium splendens*			x	.02	-.45	-.07	-.08	.44	.34	-.02	.14	-.04	.31	.22	.26	-.24	-.23
4	*Oxalis montana*				x	.44	.64	-.18	.32	.04	.50	.47	.30	.10	.13	-.06	.14	-.53
5	*Dryopteris spinulosa*					x	.62	-.22	-.09	-.09	.42	.04	.26	-.15	-.21	.02	.29	-.24
6	*Clintonia borealis*						x	-.20	.42	.09	.69	.33	.46	.16	.14	.00	.32	-.48
7	*Hylocomium umbratum*							x	-.18	-.14	-.25	-.23	-.16	.04	.28	-.11	-.06	.45
8	*Maianthemum canadense*								x	.51	.42	.52	.32	.45	.52	.02	.04	-.40
9	*Linnaea borealis*									x	.29	.15	.17	.08	.27	-.03	-.01	-.17
10	*Cornus canadensis*										x	.45	.68	.33	.18	.14	.16	-.37
11	*Trientalis borealis*											x	.39	.52	.32	.10	.02	-.37
12	*Aralia nudicaulis*												x	.27	.14	.04	.32	-.28
13	*Coptis groenlandica*													x	.49	.54	.03	-.05
14	*Streptopus roseus*														x	.05	-.11	-.09
15	*Chiogenes hispidula*															x	-.06	-.02
16	*Acer spicatum*																x	.15
17	*Litter*																	x

groups 2 and 4 are only variants of groups 1 and 3. Groups 2 and 4 are not taken into account for the identification of the stands, because of their minor importance within the available floristic space. The 52 research stands were classified according to the following criteria:

- a stand was typical of a coenological group when the group species occupied 70% or more of the available lesser vegetation;
- the coenological group was dominant in the stand when the species in the group occupied 51% or more (but less than 70%) of the available vegetation;
- two coenological groups were codominant in the stand, when their elements together occupied more than 75% of the available space in the stand; and when the two preceding criteria were not applicable. However, the stand carried the name of the more important of the two groups;
- where none of the preceding conditions were met, we considered the stand to be "mixed".

Next only groups 1, 3, and 5 were taken into account to study the relationship between yield and ground cover groups.

b. Observations on the synecology of the three main coenological groups

Before clarifying the forest production meaning of the undercover groups, the relationship between these groups and variables of the stands had to be examined. Therefore, we calculated the simple correlation coefficients between the ground cover groups and stand variables. The results are presented as a simple correlation matrix in Table 6. There are several close relationships, not only between groups, but also between the groups and the observed variables. In view of the results on the relationship between groups and the space occupied in the stand per tree, we can say that the three ground cover groups reflect quite clearly the phases of successive development of balsam fir stands over time. Their appearance is closely linked to the opening of the shrub cover or, to the natural decrease in the

Table 3. Eigen values, percentages, and cumulative percentages for K^3 for the principal component analysis of the matrix species-species

Component	Eigen value	Percentage of variance	Cumulative percentage
1	4.49626	26.45	26.45
2	3.35390	19.73	46.18
3	1.98313	11.67	57.85

Table 4. Coordinates of 17 species in K^3 space with the fidelity of their projection into K^3

	Species	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Fidelity of projection in %
1	*Pleurozium schreberi*	0.289	0.707	0.322	69
2	*Pitlium c.-castrensis*	0.247	0.711	0.420	74
3	*Hylocomium splendens*	0.350	0.763	0.040	71
4	*Oxalis montana*	0.640	-0.358	0.158	56
5	*Dryopteris spinulosa*	0.270	0.723	0.311	69
6	*Clintonia borealis*	0.708	-0.490	0.120	76
7	*Hylocomium umbratum*	-0.370	0.016	-0.576	47
8	*Maianthemum canadense*	0.764	0.289	-0.162	69
9	*Linnaea borealis*	0.429	0.367	0.078	32
10	*Cornus canadensis*	0.763	-0.362	-0.060	72
11	*Trientalis borealis*	0.686	-0.400	-0.267	54
12	*Aralia nudicaulis*	0.603	-0.352	-0.137	51
13	*Coptis groenlandica*	0.510	0.233	-0.641	72
14	*Streptopus roseus*	0.396	0.255	-0.610	59
15	*Chiogenes hispidula*	0.187	0.188	-0.274	15
16	*Acer spicatum*	0.118	-0.485	-0.074	25
17	*Litter*	-0.678	-0.101	-0.494	71

Table 5. Relative presence (%) of five ground cover groups in 52 plots which are identified in terms of the leading group

Stand	Ground cover group					Leading group
	1	2	3	4	5	
1	26	0	28	0	46	Mixed
2	74	9	4	0	13	Typical Group 1
3	49	9	36	6	0	Groups 1, 3 codominant
4	29	4	57	10	0	Group 3 dominant
5	51	10	25	14	0	Group 1 dominant
6	58	5	26	0	11	Group 1 dominant
7	65	2	33	0	0	Group 1 dominant
8	30	8	38	0	24	Mixed
9	52	2	40	6	0	Group 1 dominant
10	39	7	44	10	0	Groups 3, 1 codominant
11	64	1	32	3	0	Group 1 dominant
12	17	5	70	8	0	Typical Group 3
13	80	3	17	0	0	Typical Group 1
14	84	0	16	0	0	Typical Group 1
15	59	7	33	1	0	Group 1 dominant
16	61	0	21	0	18	Group 1 dominant
17	26	4	70	0	0	Typical Group 3
18	2	1	85	12	0	Typical Group 3
19	29	18	33	20	0	Mixed
20	49	4	47	0	0	Groups 1, 3 codominant
21	31	0	0	0	69	Group 5 dominant
22	21	0	17	0	62	Group 5 dominant
23	24	0	56	13	7	Group 3 dominant
24	38	0	45	3	4	Groups 3, 1 codominant
25	20	3	52	6	19	Group 3 dominant
26	36	1	57	4	2	Group 3 dominant
27	38	0	34	0	28	Mixed
28	10	1	77	12	0	Typical Group 3
29	6	0	74	20	0	Typical Group 3
30	1	2	73	24	0	Typical Group 3
31	26	0	65	9	0	Group 3 dominant
32	45	2	31	5	17	Groups 1, 3 codominant
33	44	1	23	1	31	Groups 1, 5 codominant
34	29	8	30	4	29	Mixed
35	41	3	17	0	39	Groups 1, 5 codominant
36	40	1	48	11	0	Groups 3, 1 codominant
37	45	1	42	3	9	Groups 1, 3 codominant
38	35	7	40	8	10	Groups 3, 1 codominant
39	8	1	48	4	39	Groups 3, 5 codominant
40	0	0	12	0	88	Typical Group 5
41	14	0	20	0	66	Group 5 dominant
42	32	1	11	5	51	Group 5 dominant
43	28	7	11	2	32	Mixed
44	13	3	25	0	59	Group 5 dominant
45	54	2	16	2	26	Group 1 dominant
46	28	0	28	3	41	Mixed
47	9	0	8	3	80	Typical Group 5
48	29	0	13	0	58	Group 5 dominant
49	15	3	31	3	48	Groups 5, 3 codominant
50	21	0	30	1	48	Groups 5, 3 codominant
51	45	14	21	4	16	Mixed
52	0	4	16	0	80	Typical Group 5

Table 6. Matrix of simple correlations between the ground cover groups and between these and the main mensurational and soil variables

	Group 1 *Pleurozium-Hylocomium*	Group 3 *Dryopteris-Oxalis*	Group 5 *Litter-Hylocomium umbratum*
Group 3	-.38	x	-.62
Group 5	-.49	-.62	x
Humus pH	-.49	.31	.13
Total Humus Nitrogen	-.42	.54	-.15
Humic C	-.45	.54	-.12
Humic/Fulvic	-.57	.50	.02
C/N Humus	.43	-.50	.10
Median particle diameter	-.03	.24	-.20
Average basal area of the stand	-.39	.87	-.49
Available surface per tree in the stand	-.38	.88	-.50

number of stems in the station, or to a decrease resulting from mortality due to budworm defoliation.

To illustrate this finding (Figure 7) we went back to the stand distribution shown in Figure 2 and identified each stand according to its respective coenological group. If Figure 7 is examined from the relationship between the space per tree, the average basal area of the stand, and the dominance of the coenological group, a group order over time will be revealed since basal area is a function of time.

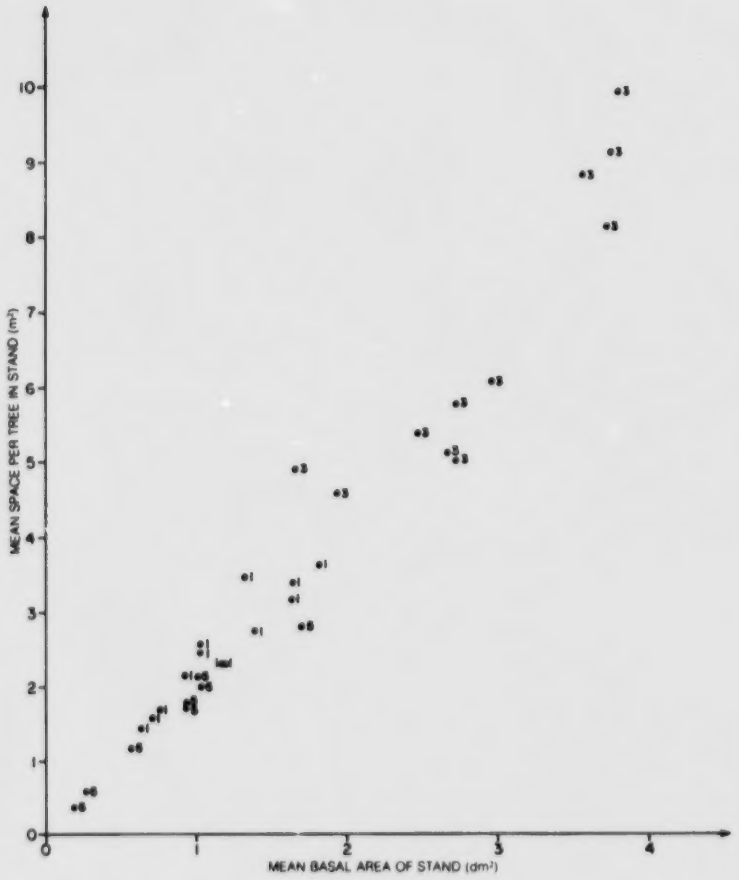

Figure 7. Distribution of typical and dominant ground cover groups in the stands according to mean surface per tree and mean basal area.

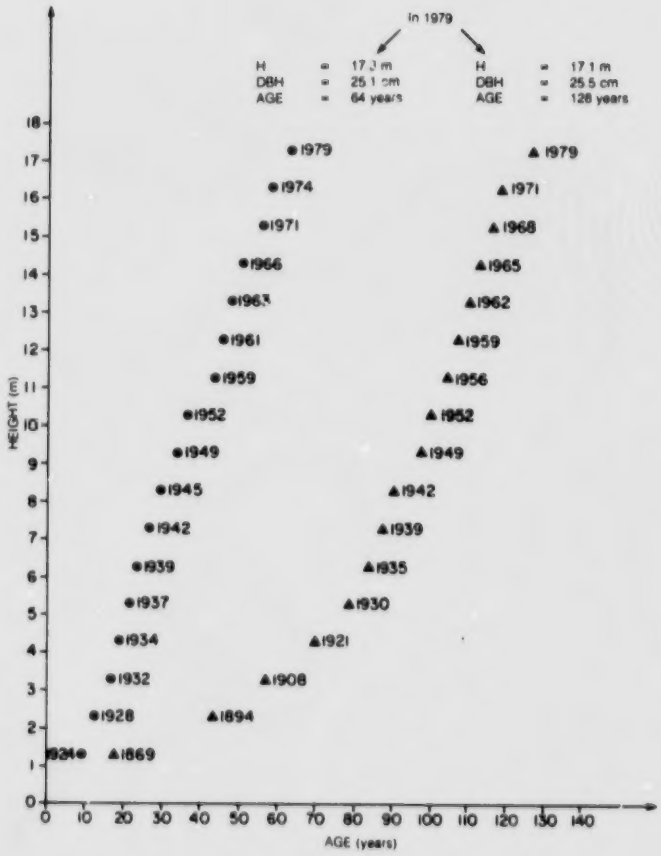

Figure 8. Height growth of two balsam firs.

The respective position of the three ground cover groups in Figure 7 confirms the conclusion of Busby et al. (1978) that "Feather mosses are limited by radiation damage and evaporation stress in open habitats, by depression of net assimilation and other delerious effects of saturation in wet habitats, and insufficient rainfall under tree canopies". The position of the third group (see also the correlations between this group and the state of the humus in Table 6), confirms Piene's (1978) results and conclusions, that "a decrease in the number of stems stimulates the rate of mineralization of organic carbons and raises the mineral nitrogen content. Increased mineralization of organic matter can be attributable to an increase in summer temperatures in the layer of litter". This has been well confirmed by the correlations between the three coenological groups and humus nitrogen, the proportion of humic acid and the C/N ratio.

Tree height as an index of stand quality

In current forestry practice stand quality is evaluated in terms of the height of trees at a given age. Furthermore this evaluation is possible if the yield level of the stands is known (Assmann 1961). Therefore we carried out a detailed examination of the stands structure and their level of production (Zarnovican 1982).

Apical growth - A brief examination

Trees grow in height through an yearly elongation of the leader. This growth is a function of age and can be expressed graphically by an S-shaped curve. The curve's shape reflects quite faithfully not only the genetic characteristics of the species, but also the social position of the tree (or the available space) and the quality of the stand. Stem analysis has made it relatively easy to reconstruct apical growth. Figure 8 shows the results of stem analyses on two firs.

The dbh and total height indicate that the two trees are practically identical. However, they are 64 and 128 years old (read at the stump), a considerable age gap. Furthermore, knowing the ecology of the balsam fir, we realize that the 128 year old tree, because of its particular social position in the stand, has been a victim of prolonged oppression since its

youth. About 1930, when the 128 year old tree was 5.3 m high, this oppression was eliminated and it was able to resume normal growth, so that height growth in the two trees was practically the same since 1930. Stem analysis has made it possible to define the length of the period of oppression and to adjust the physical age of the trees. Nevertheless it is almost impossible to measure the effects of certain other factors on apical growth, such as disease or insect attacks. We will illustrate the effect of insect outbreaks on apical growth by means of time of passage. The time of passage corresponds to the years necessary for the leader to grow 1 m. Figure 9 illustrates the mean and standard deviation of these times of passage in periods of 4 years from 1948 to 1967. We can see that, in general, the mean is 3 years. However, between 1956 and 1959, the mean was 6 years, which indicates that apical growth was very slow during this period. The works of Blais (1961) and Blais and Martineau (1960) established that this decrease in apical growth or increase in the time of passage was the result of spruce budworm outbreaks in the 1950s. However, it is impossible to quantify these effects.

The genetic characteristics of the species is a factor influencing apical growth. Even though we do not have data on this aspect, the work of Robinson and Thor (1969) indicates that the fir population of the Lake Joffre area is genetically homogeneous.

Finally, height growth is also an indication of the quality of a stand. Figure 10 illustrates the effect of stand quality on height growth by means of current increment curves for black spruce. The data were obtained from a previous work by Zarnovican (1979). The stand at an altitude of 180 m, has a site index of 17 m at 100 years, is dominated by black spruce with feather mosses, a drainage of 2 - 3, and a clay loam texture. At an altitude of 240 m, the station with the 4 m index at 100 years is dominated by black spruce with ericaceous shrubs and sphagnum, a drainage of 5, and a silty clay texture. The two stands form part of the Lake Matagami Ecological Region (Zarnovican et al. 1976). Figure 10 shows that apical growth in the black spruce varies as a function of the stand. The stand

with an index of 17 m at 100 years produced a maximum annual growth of 26.5 cm at 18 years, while in the stand with an index of 4 m this growth was only 5.3 cm at 63 years. Thus, stand quality has a direct effect on the apical growth curve, and especially on its slope, for the period of full growth. This is compatible with the results and conclusions of other authors (Beck 1971; Curtis 1964; Assman 1961).

The differences in stand quality are shown through comparison at the phase of full growth only, because a comparison between the juvenile stage (when it is impossible to measure the influence of the stand) and the full growth phase, for example, (when on the contrary, the effect of the stand is quite evident), may lead to the wrong conclusions.

Determination of the site index curves

Before the family of site index curves could be established, it was necessary to evaluate the length of the period of oppression and to adjust the physical ages of the trees to make them comparable. To establish the age necessary to reach a height of 40 cm, we used data on height growth under non-oppressive conditions (Logan 1969). For heights between 1.3 m and 2.3 m we used the age data obtained in our previous study (Zarnovican 1982). Thus, we were able to determine the length of the juvenile period for 97 balsam fir specimens. The set of site index curves was established on the basis of height and age data on 97 balsam firs.

From the analysis of 97 stems, we were able to establish 1 193 sets of height and age data. Then, using the method developed by Tveite (1969), we regrouped the height data in age categories of 5 years each, to define the height growth range. Table 7 shows the regrouped data and the range is defined by five series of heights, which correspond to the average height plus or minus one time and two times the standard deviation of the height per age class. Figure 11 illustrates the height growth range by means of an average curve and upper and lower curves according to age. The relationship between the standard deviation and the coefficient of variation according to age is shown in Figure 12. It is interesting to point out that

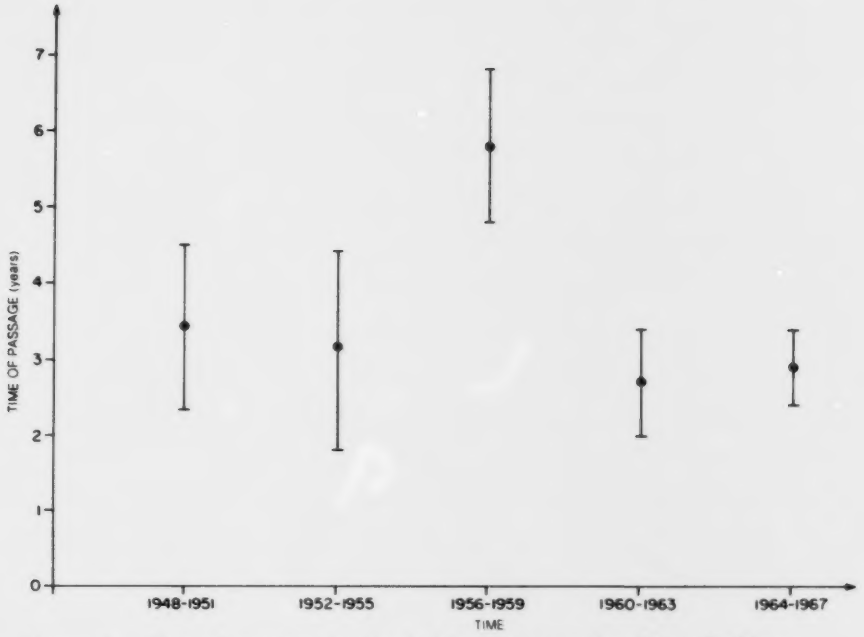

Figure 9. Time of passage in the balsam fir as a function of time.

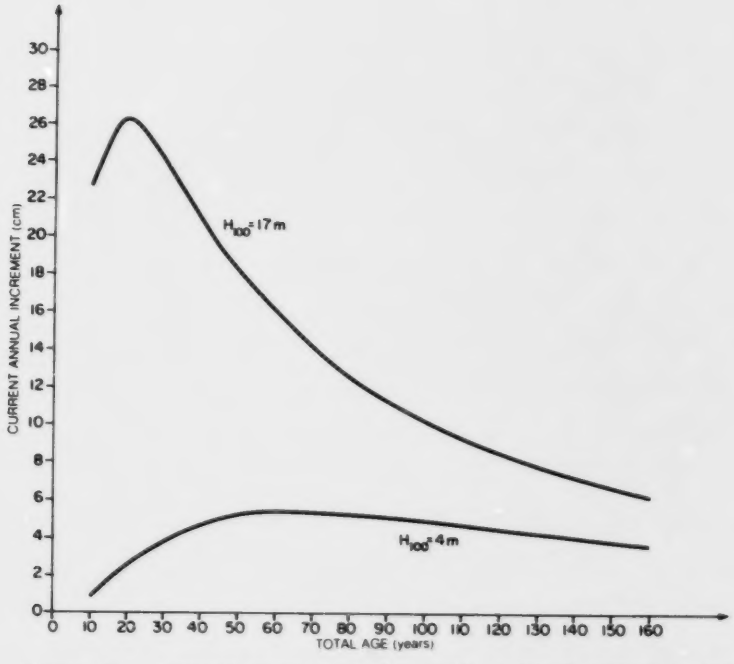

Figure 10. Current annual height growth in black spruce in two different sites.

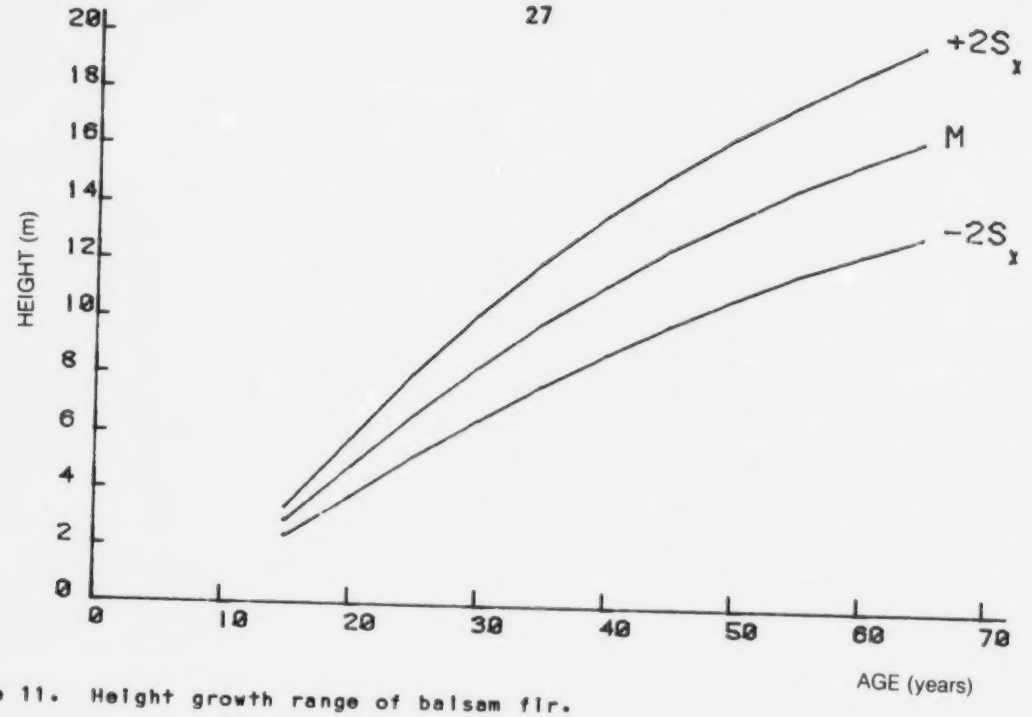

Figure 11. Height growth range of balsam fir.

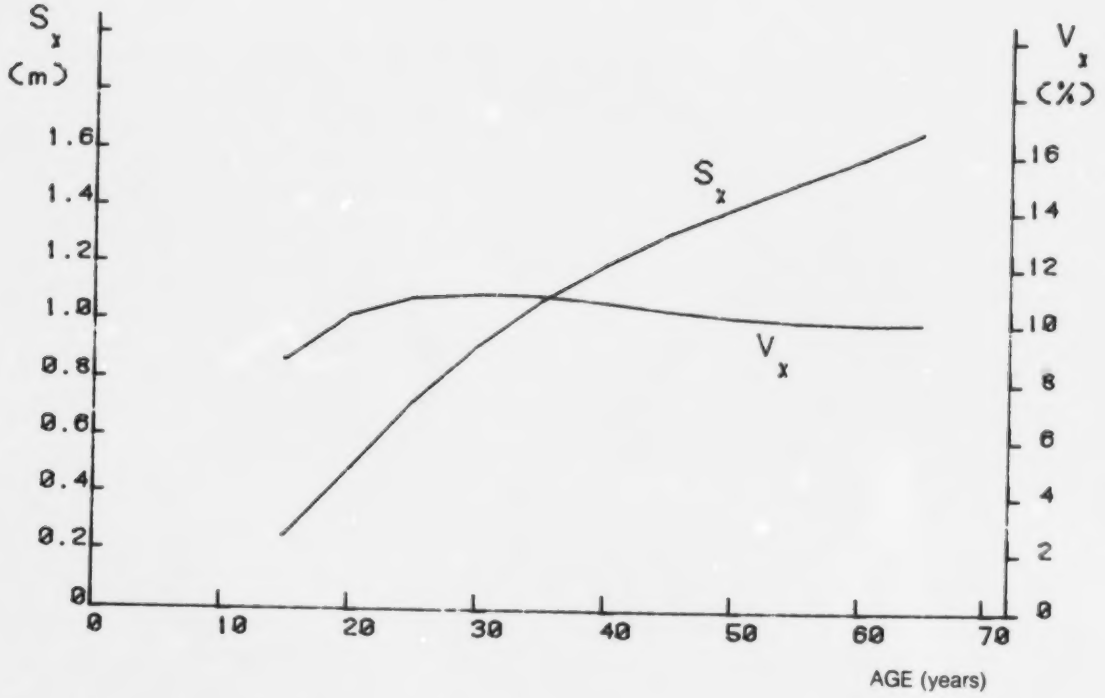

Figure 12. Variations in height growth as a function of age.

Table 7. Height growth range for balsam fir per age class of 5 years

Age (Years)	Number of observations	Average height H_m (m)	Standard deviation s_x (m)	Coefficient of variation (%)	Height $H_m + 2s_x$ (m)	Height $H_m + s_x$ (m)	Height $H_m - 2s_x$ (m)	Height $H_m - s_x$ (m)
15	98	2.88	0.25	8.7	3.37	3.13	2.63	2.38
20	120	4.80	0.49	10.2	5.78	5.29	4.31	3.82
25	126	6.65	0.72	10.9	8.09	7.37	5.93	5.20
30	128	8.36	0.92	11.0	0.20	9.28	7.44	6.52
35	129	9.91	1.08	10.9	12.07	10.99	8.83	7.75
40	144	11.31	1.21	10.7	13.73	12.52	10.10	8.89
45	107	12.58	1.32	10.5	15.21	13.89	11.26	9.95
50	118	13.73	1.41	10.3	16.54	15.13	12.32	10.91
55	72	14.77	1.49	10.1	17.75	16.26	13.27	11.78
60	52	15.72	1.58	10.1	18.88	17.30	14.14	12.56
65	46	16.59	1.68	10.1	19.94	18.26	14.91	13.24
70	53	17.38	1.78	10.2	20.94	19.16	15.60	13.82
Total	1 193							

the coefficient of variation shown in Figure 12 stabilizes at about 20 years and oscillates by about 10% thereafter.

Usually, one uses point scatter around the mean-curve to establish the family of curves in a proportional manner (Bruce and Schumacher 1950). The coordinates of these curves are calculated by means of formulas containing the standard deviation or the variation coefficient (Bolghari 1977; Decourt 1965; Cantiani 1964). However, when using the growth function, one prefers to calculate these coordinates by means of the modified growth func-

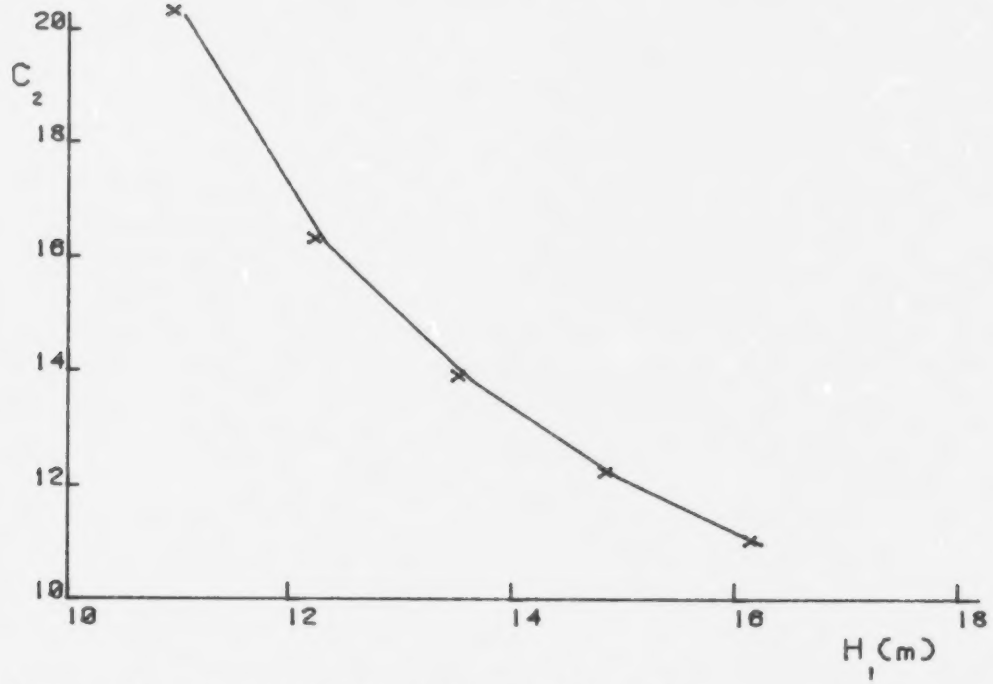

Figure 13. The relationship between C_2 and H_{50}.

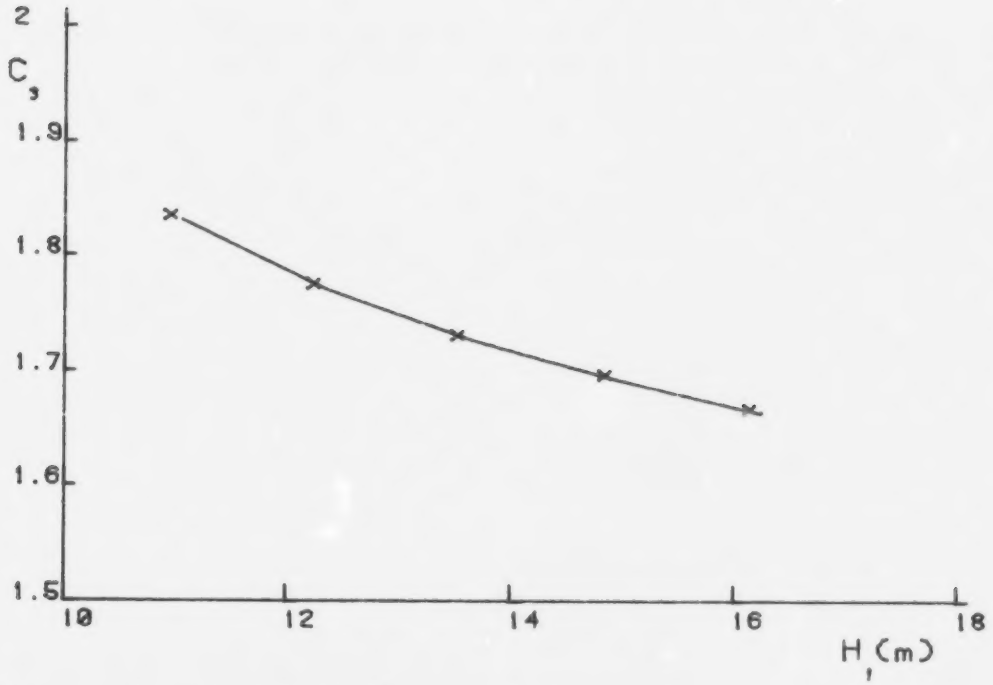

Figure 14. The relationship between C_3 and H_{50}.

tion (Griffin and Johnson 1980; Halaj 1978; Schütz and Badoux 1979; Franz 1971; Hradetsky 1972; Schmidt 1969).

The mathematical expression of growth in the balsam fir was established by means of Korf's function, which is expressed as follows:

$$H = C_1 \exp^{C_2/(1-C_3)T^{C_3-1}}$$

where

H is the height

C_1, C_2, C_3 are the parameters

and T is the age.

This function was used to adjust the relationship between height and age in five curves of the growth range. The parameters of the function are shown in Table 8, which also includes height calculated at 50 years (H_{50}). On the basis of the results obtained by adjusting the distributions by means of Korf's function, it is possible to conclude that the fitting was adequate and that the function itself is subtle enough to predict growth.

Before establishing the mathematical formulas for each curve of the family, we analyzed the relationships between parameters C_2 and C_3 and height calculated at 50 years (Table 8). The relationship between C_2 and H_{50} is shown in Figure 13. The best model for this relationship is:

$$C_2 = 2.94882 \exp^{21.18007/H_{50}}$$

with a determination coefficient R^2 of 0.998. Parameters A_1 = 2.94882 and A_2 = 21.18007 are used to further our understanding.

The relationship between parameter C_3 and height calculated at 50 years (H_{50}) is shown in Figure 14. Through the method of least squares, we find that the best algebraic expression is:

$$C_3 = A_3 + (A_4/H_{50})$$

where the values of the parameters are $A_3 = 1.30688$, $A_4 = 5.76418$, and the determination coefficient is 0.996.

The amplitude of the growth range at 50 years is from 11.06 to 16.24 m, suggesting that reference points for the growth curve at 50 years are from 11 to 17 m. We divided the growth curve into 1 m intervals. Through equations between parameters and height at 50 years, one can substitute these parameters in Korf's function to obtain a general formula that can be used to calculate height index curves.

$$H = I50 \exp \frac{A_1 \exp A_2/H_{50}}{1-A_3-(A_4/H_{50})} T^{1-A_3-(A_4/H_{50})} {}_{-50}{}^{1-A_3-(A_4/H_{50})}$$

where

H is the height that has been calculated

I50 is the site index

T is the age

A_1, A_2, A_3, and A_4 are the parameters defined above.

Figure 15 shows the site index curves. We have also established the height current increment curves (Figure 16). The shape of the curves (Figure 15 and 16) corresponds to the usual shape and this can be verified in the following comparisons.

The first comparison was made against some observed heights obtained through stem analysis (Figure 17). The slope and shape of the curves appear to be the same. The second comparison was made between height indices of 11, 14, and 17 and Ker's curves for 8 and 18 m; and between the first and Vézina's curves for the first and second class (Figure 18). The curves produced by other authors were obtained from normal yield tables. There is a similarity between Vézina's curves and ours. However, Ker's curves, especially those for the best classes, have a more pronounced sloped, indicating a more rapid growth; but the culmination of apical growth is also attained more rapidly.

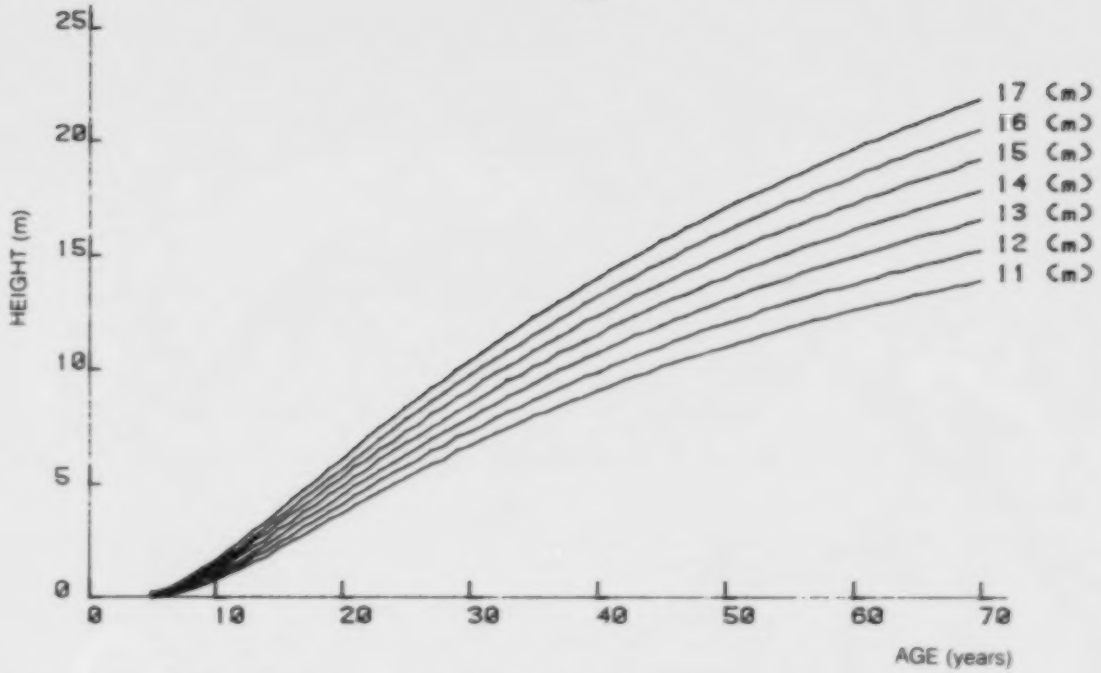

Figure 15. Site index curves for balsam fir.

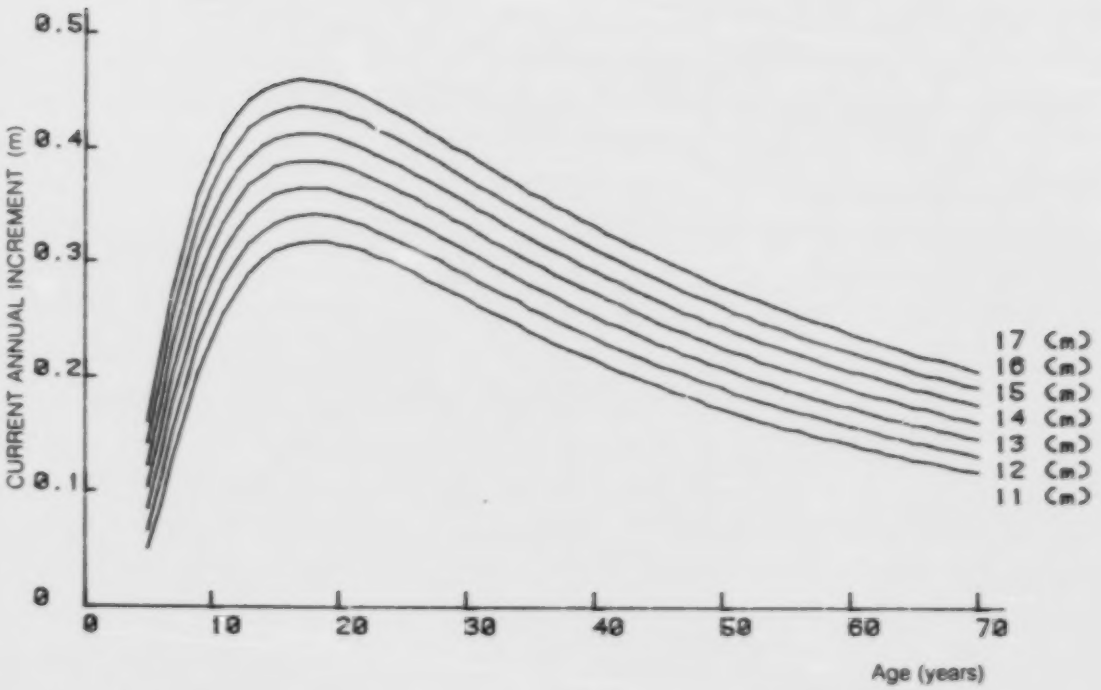

Figure 16. Current annual height growth curves for balsam fir.

Table 8. Parameters in Korf's function for 5 height growth curves in the balsam fir

Curve	Parameters					Residual sum of squares	Culmination CAI (years)	age for MAI (years)
	C_1	C_2	C_3	R^2	H_{50} (m)			
H_m+2s_x	55.42569	10.95927	1.66423	0.998	16.24	4.43	17	37
H_m+s_x	48.14231	12.17426	1.69262	0.999	14.94	1.72	17	37
H_m	41.21879	13.82545	1.72710	0.999	13.64	0.28	18	37
$H_m - s_x$	34.64386	16.23897	1.77092	0.999	12.34	0.14	18	37
$H_m -2s_x$	28.39325	20.24318	1.83117	0.999	11.06	1.61	18	37

Finally, the last comparison concerned apical growth in relation to the coenological groups. This was done to verify the significance of these groups relative to height growth and, consequently, to yield. Height data was regrouped in age categories of 5 years for trees taken from stands with typical or dominant coenological group by the method previously used for the definition of height growth range. Tables 9, 10, and 11 show the means and standard deviations of the results obtained concerning apical growth and ground cover groups. Figure 19 illustrates this growth in terms of ground cover groups in the following order: 1st, 3rd, and 5th groups. Apical growth is almost identical in all three groups and statistically significant differences are absent.

To verify this result we also compared the specific weights of wood obtained from balsam fir, because stand influence on the quality of wood has been generally recognized. Our comparisons did not take into account the effects of anisotropy, which in balsam fir can be explained on the one hand in terms of juvenile growth and on the other by prevailing winds. However, the effects of anisotropy become less significant once a tree grows over 2 m tall.

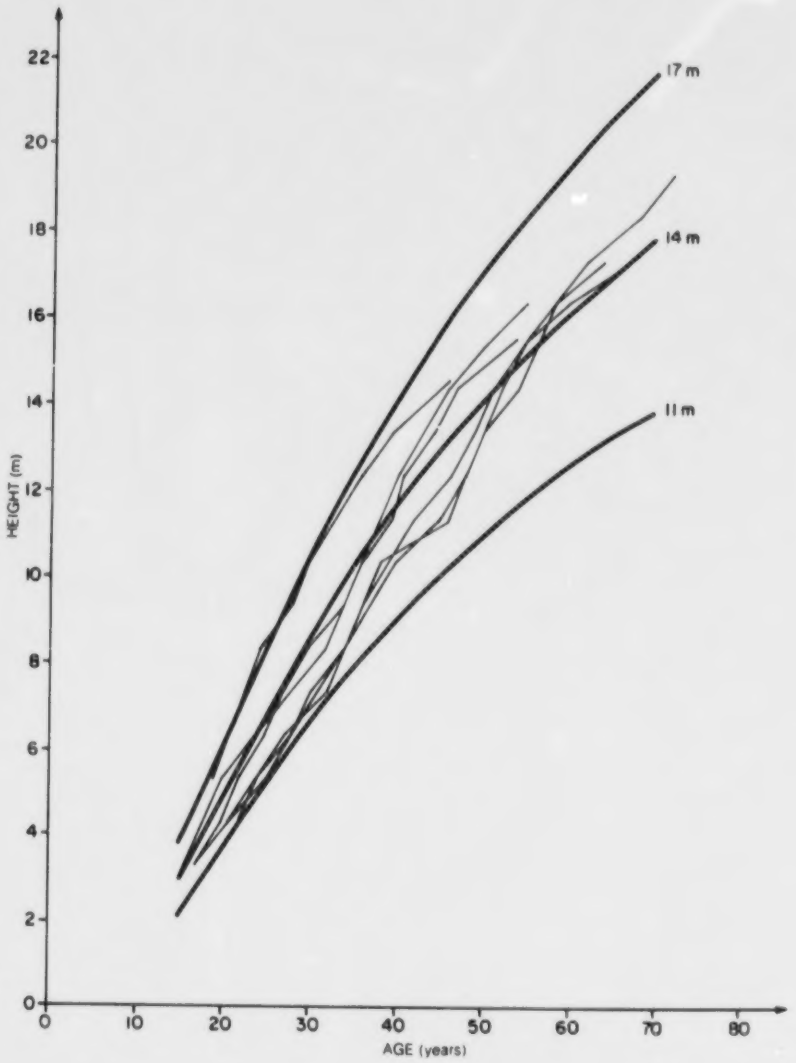

Figure 17. Comparison of site index curves with some heights established by stem analysis.

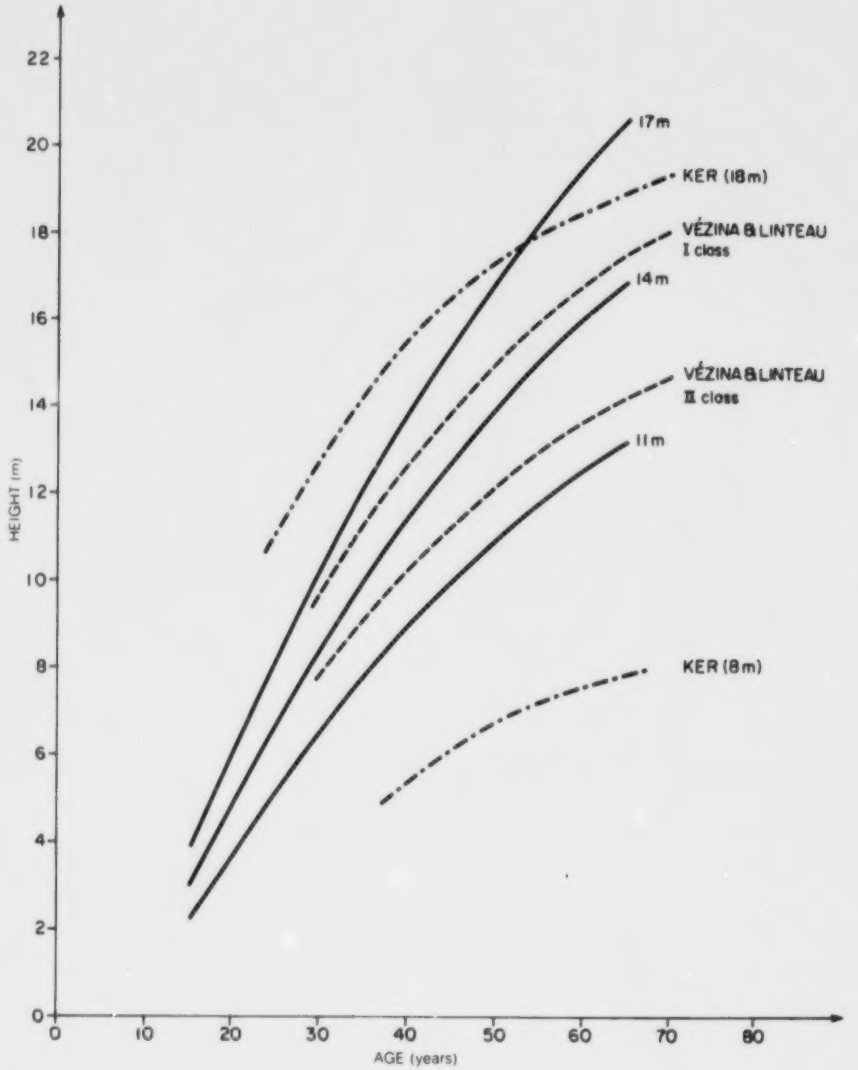

Figure 18. Comparison of site index curves with data published by Ker (1976) and by Vézina and Linteau (1968).

Table 9. Height growth in balsam fir in typical stands or those dominated by the first vegetation group, expressed in terms of mean height according to age class by intervals of 5 years

Age class (years)	Mean height (m)	Standard deviation (m)	Number of observations
15	2.71	0.50	37
20	4.36	0.67	36
25	5.98	0.78	37
30	7.58	0.81	32
35	8.86	0.80	27
40	10.36	0.92	34
45	11.62	0.95	25
50	12.85	1.08	23
55	13.70	1.19	21
60	15.07	0.75	16
		Total	288

Table 10. Height growth in balsam fir in typical stands of those dominated by the third vegetation group, expressed in terms of mean height according to age class by intervals of 5 years

Age class (years)	Mean height (m)	Standard deviation (m)	Number of observations
15	2.78	0.65	25
20	4.26	0.96	26
25	5.63	1.14	27
30	7.30	1.29	31
35	8.94	1.45	33
40	10.78	1.48	27
45	11.68	1.32	21
50	12.93	1.20	17
55	13.95	1.25	13
60	14.22	1.00	12
		Total	232

Table 11. Height growth in balsam fir in typical stands or those dominated by the fifth vegetation group, expressed in terms of mean height according to age class by intervals of 5 years

Age class (years)	Mean height (m)	Standard deviation (m)	Number of observations
15	2.66	0.49	28
20	4.44	0.80	36
25	6.23	0.96	29
30	7.82	1.03	30
35	9.52	1.14	30
40	11.30	1.17	20
45	12.49	1.18	16
50	13.59	1.06	14
55	14.39	1.32	10
60	15.80	1.41	8
		Total	221

Table 12. Wood density in balsam fir according to ground cover

Coenological group	Number of observations	Wood density (g per cm^2)		Coefficient of variation (%)
		Mean	Standard deviation	
1st group	87	0.359	0.041	11.4
3rd group	57	0.350	0.032	9.1
5th group	51	0.346	0.028	8.1

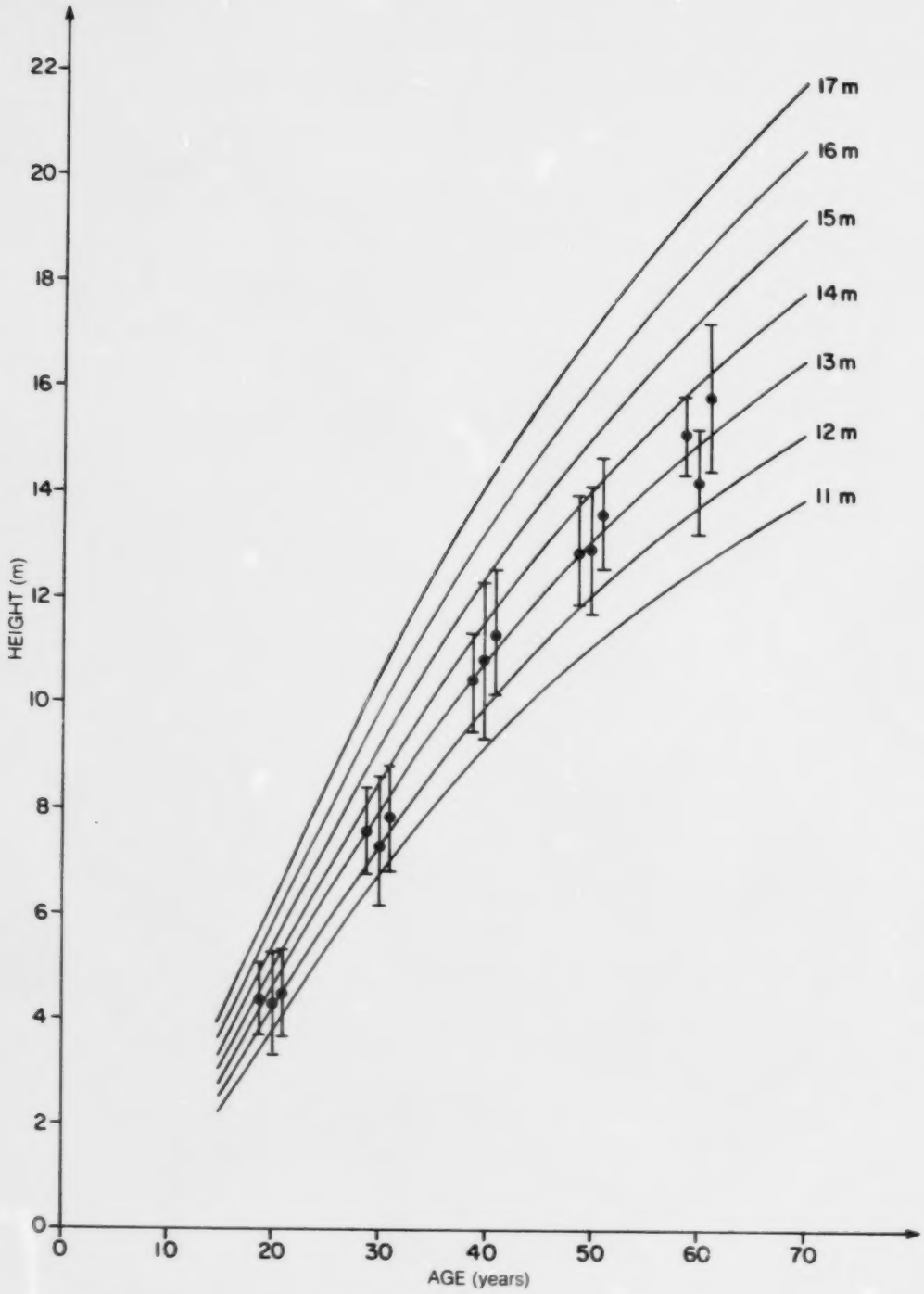

Figure 19. Height growth according to site index curves of coenological groups 1, 3 and 5 depending on age.

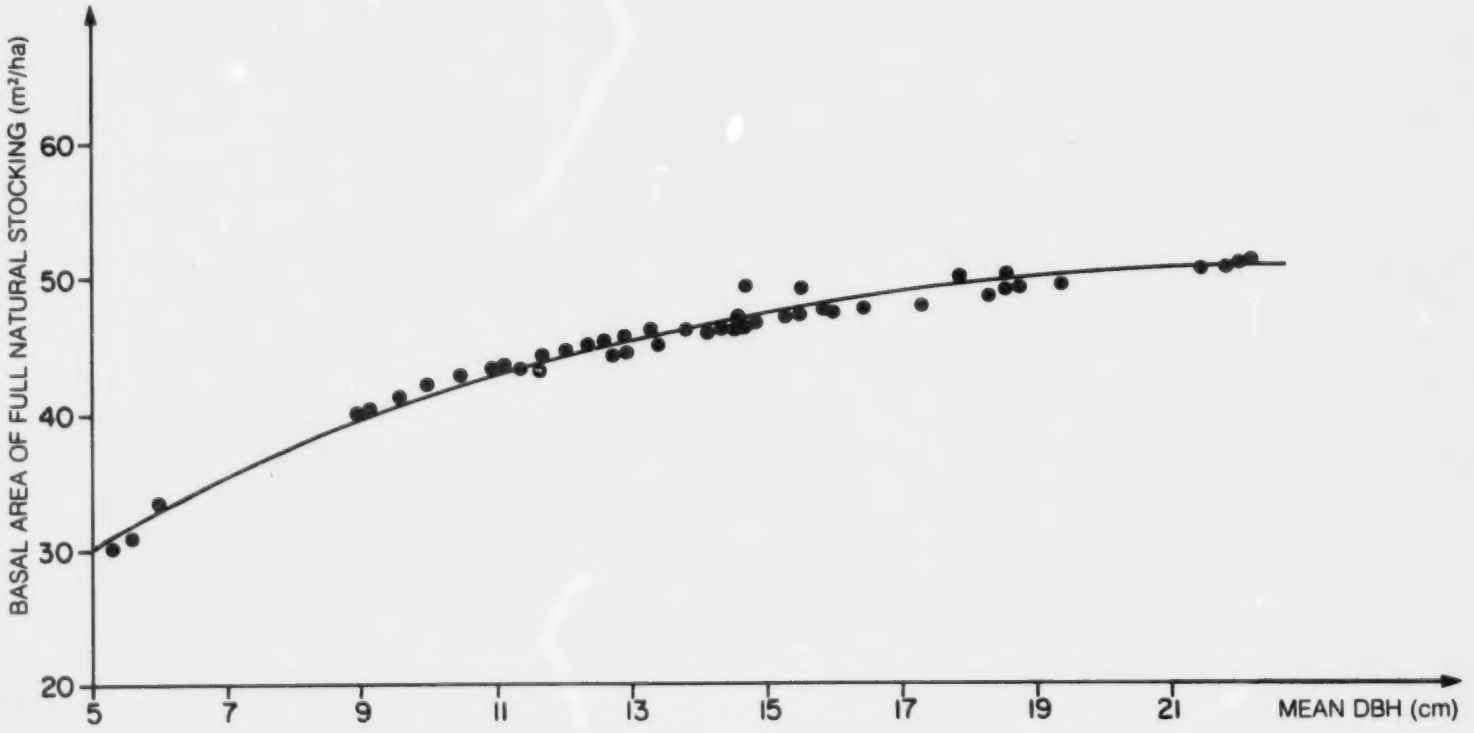

Figure 20. Yield level of fully stocked stands expressed as basal area per hectare according to the mean dbh of the stands.

Table 12 shows data obtained on balsam fir wood densities, expressed in terms of means and standard deviations per floristic group. It also shows that the wood density of balsam firs is practically the same from one ground cover group to the other. The same would probably also be true for the effects of stand ecological factors on the growth of balsam fir. Finally, the last check on the validity of the site indices established above refers to the comparison of yield in the 52 research stands located in the Lake Joffre area. It is important to remember that yield has been defined in terms of basal area in hectares for a stand providing full natural stocking, in relation to the average dbh of the stand. Figure 20 shows the order of the 52 stands according to these two criteria. It is easy to see that they line up perfectly, evidence of single level of production and, in my opinion, of the same level of stand quality.

CONCLUSION

An examination of the main characteristics of the 52 stands leads to the conclusion that they represent a single growth serie. The diametral structure of the research stands indicates that balsam fir populations tend to regularize themselves over time and to achieve practically normal distribution. The comparison between results presented in this paper on balsam fir and those obtained by Vézina and Linteau (1968) and Ker (1976) reveal a remarkable similarity. However, there are significant differences between our results and data reported by Boudoux (1978). The social position of the tree, has a greater influence on the height growth of balsam fir which is reflected in the length of the juvenile period and the physical age of the tree. Furthermore, we have found that insect outbreaks, though difficult to quantify, have a determining influence on height growth.

Because height growth appears the same for all ground cover groups, they cannot be used for forecasting stand yield. Comparisons of wood density confirmed these results. On the basis of the synecology of the three groups studied, we can only say that, at least for the region under consideration, these groups represent nothing more than normal phases in the evolution of a balsam fir stand over time.

It seems that the approach used to establish height growth patterns and site index is logical and relatively simple. On the basis of the results obtained, it appears that Korf's function is flexible enough to be used as a predictive model for height growth process. Even though the range of height growth at 50 years was sufficiently large to reflect several yield classes, the comparison of height growth between the main vegetation groups and the comparison of wood densities did not confirm these results. Furthermore, an examination of yield and form height in the 52 research stands indicates that stand quality is practically the same for the group of balsam fir sites studied and that site indices reflect nothing more than variations in height growth which can probably be explained by the effects of repeated spruce budworm outbreaks.

ACKNOWLEDGEMENTS

I wish to thank Messrs. Jean-Baptiste Breton and Jean-Louis Bélair for their invaluable assistance durint this study. I also wish to express my sincere thanks to Mr. Jacques Trencia for his useful comments and suggestions during the correction of the text.

REFERENCES

Assmann, E. 1955. Die Bedeutung des "erweiterten Eichhornschen Gesetzes" für die Konstruktion von Fichten-Ertragstafeln. Forstwiss. Cbl., 74:321-330.

Assmann, E. 1961. Waldertragskunde. BLV München, 490 p.

Assmann, E. 1965. Die Schätzung jetziger und künftiger Ertragsleistungen. Forstwiss. Cbl., 85:355-371.

Assmann, E. 1974. Zum Begriff "Ertragsniveau". Forstwiss. Cbl., 93:177-179.

Assmann, E.; Franz, F. 1963. Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. München, Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt, 104 p.

Badoux, E. 1969. Les tables de production. La Forêt. 232:30-35.

Beck, D.E. 1971. Height-growth patterns and site index of white pine in the southern Appalachians. For. Sci. 17:252-260.

Blais, J.R. 1961. Spruce budworm outbreaks in the Lower St. Lawrence and Gaspé Regions. For. Chron. 37:192-202.

Blais, J.R.; Martineau, R. 1960. A recent spruce budworm outbreak in the Lower St.Lawrence and Gaspé with reference to aerial spraying operation. For. Chron. 36:209-224.

Bolghari, H.A. 1977. Hauteur dominante et indices de qualité des stations dans les plantations d'épinette blanche et de Norvège. Nat. Can. 104:475-484.

Bolghari, H.A.; Vézina, P.-E. 1974. Estimation de l'accroissement et de la production des sapinières de diverses densités. Qué. Minist. Terres For., Serv. Rech. Mém. n° 18.

Bolghari, H.A.; Vézina, P.-E. 1975. L'influence de quelques caractéristiques du peuplement et du milieu sur la croissance en volume du sapin baumier et de l'épinette noire au Québec. Nat. Can. 102:339-352.

Boudoux, M. 1978. Tables de rendement empirique pour l'épinette noire, le sapin baumier et le pin gris du Québec. Qué. Minist. Terres For., Serv. Inf. 101 p.

Boudoux, M.; Bonenfant, F. 1979. SACADOS. Système automatique conversationnel d'analyse de données Statistiques. Environ. Can., Serv. Can. For., Cent. Rech. For. Laurentides, Sainte-Foy, Qué. Rapp. Inf. LAU-X-39. 22 p.

Bradley, R.T.; Christie, J.M.; Johnson, D.R. 1966. Forest Management Tables. Booklet 16, For. Comm., London, 218 p.

Bruce, D.; Schumacher, F. 1950. Forest mensuration. McGraw-Hill. New York, 483 p.

Busby, J.R.; Bliss, L.C.; Hamilton C.D. 1978. Microclimate control of growth rates and habitats of the boreal mosses, *Tomenthypmum nitens* and *Hylocomium splendens*. Ecological Monographs 48: 95-110.

Cantiani, M. 1964. Tavola alsometrica delle pinete de laricio dell'Etna. [Production tables for Corsican pine at Etnap]. [In Italien]. L'Ital. For. e Montana, 1:98-115.

Carmean, W.H. 1979. A comparison of site curves for northern hardwood species. U.S. Dept. Agric. For. Serv., North Cent. For. Exp. Stn., St.Paul, Minnesota. Res. Pap. NC-167, 12 p.

Commission Canadienne de Pédologie, Comité de la classification des sols. 1978. Le système canadien de classification des sols. Can. Minist. Agric. publ. n° 1646. 170 p.

Curtis, R.O. 1964. A Stem-Analysis approach to site-index curves. For. Sci. 10: 241-256.

Decourt, N. 1965. Le Pin sylvestre et le Pin laricio de Corse en Sologne. Tables de production provisoires et méthodes utilisées pour les construire. Ann. Sci. forest., 22:257-318.

Decourt, N. 1973. Production primaire, production utile: Méthodes d'évaluation, indices de productivité. Ann. Sci. forest., 30:219-238.

Dixon, W.T. 1977. BMDP, Biomedical Computer Programs, P-Series, Univ. Calif. Press, Berkeley, Calif.

Duchovnikov, J. 1972. Tablici za bonitirane na belborovi nasazdenia po gospod-stvuvascata visocina. [Site index evaluation tables, according to height, for pine stands]. [In Bulgarian] Gorsko stopanstvo 28:24-28.

Franz, F. 1971. Grundlagen und Verfahren standortbezogener Leistungsschätzung. Forstl. Forschungsanstalt, München, Nr. 2, 316 p.

Gagnon, R.M. 1970. Climat des Chic-Chocs. Qué. Minist. Rich. Nat. 103 p.

Gobeil, A.R. 1938. Dommages causés aux forêts de la Gaspésie par les insectes. Qué. Minist. Terres For., Serv. Ent. Bull. n° 2. 16 p.

Griffin, R.H.; Johnson, J.E. 1980. Polymorphic site index curves for spruce and balsam fir growing in even-aged stands in Northern Maine. Life Sci. Agric. Exp. Stn., School For. Resour., Univ. Gutte Maine, Orono, Me. Bull. 765.

Guttenberg, A.R. 1915. Wachstum und Ertrag der Fichte im Hochgebirge. Franz Deuticke, Wien und Leipzig, 156 p.

Halaj, J. 1978. Vyskovy rast a struktura porastov. [Height growth and structure of stands]. [In Slovak]. Slov. Akad. Vied, Bratislava 284 p.

Hamilton, G.J.; Christie, J.M. 1973. Forest Management Tables. Booklet 34, For. Comm. London. Booklet 34. 201 p.

Heger, L. 1968. A method of constructing site index curves from stem analysis. For. Chron. 44:11-15.

Hradetzky, J. 1972. Modell eines integrierten Ertragstafel-Systems in modularer Form. Inaugural-Dissertation, Freiburg i. Br. 172 p.

Jurdant, M. 1964. Carte phytosociologique et forestière de la Forêt expérimentale de Montmorency. Can. Minist. For. Publ. 1946. 73 p.

Ker, M.F. 1976. Metric yield tables for the major forest cover types of Newfoundland. Environ. Can., Can. For. Serv., Nfld. For. Res. Cent., Inf. Rep. N-X-141.

Korf, V. 1953. Dendrometrie. [Forest mensuration]. [In Czech]. Stat. zem. nakl., Praha, 327 p.

Lafond, A. 1967. Notes pour l'identification des types forestiers des concessions de la Québec North Shore, Paper Co., 3e édition. Imprimerie Laize Ltée., Hauterive, Qué. 93 p.

Lebuis, J.; David, P.P. 1977. La stratigraphie et les événements du quaternaire de la partie occidentale de la Gaspésie, Québec. Géogr. Phys. Quat. 21:275-296.

Linteau, A. 1957. Classification des stations forestières de la Section des Conifères du Nord-Est, Région des Forêts Boréales, Québec. Can. Dep. North. Aff. Nat. Resour., For. Br., Bull. No. 118. 85 p.

Logan, K.T. 1969. Growth of trees seedlings as affected by light intensity. IV. Black spruce, White spruce, Balsam fir, and Eastern White cedar. Dep. Fish. For., Can. For. Serv., Publ. No. 1256. 12 p.

Martineau, R. 1943. Population studies of the European spruce sawfly (*Gilpinia hercyniae* Htg.) in Québec. For. Chron. 19:87-107.

McKeague, J.A. 1977. Manuel de méthodes d'échantillonnage et d'analyse des sols, Sous-comité des méthodes d'analyse, Comission canadienne de pédologie, 223 p.

Panek, F. 1976. Construction of the site class curves by means of Korf's equation. Les. Cas. 22:129-139.

Piene, H. 1978. Effects of increased spacing on carbon mineralisation rates and temperature in a stand of young balsam fir. Can. J. For. Res. 8:398-406.

Popovich, S. 1974. Volume par unité de surface terrière, comme moyen d'évaluer la productivité de stations et la production des plantations d'épinette blanche au Québec. Can. J. For. Res. 4:127-137.

Robinson, J.F., Thor, E. 1969. Natural variation in Abies of the Southern Appalachians. For. Sci. 15:239-245.

Rowe, J. 1972. Forest Regions of Canada, Can. Dep. Environ., Can. For. Serv., Publ. No. 1300, 172 p.

Schmidt, A. 1969. Der Verlauf des Höhenwachstums von Kiefern auf einigen Standorten der Oberfalz. Forstwiss. Centralbl. 88:33-40.

Schütz, J.-Ph.; Badoux, E. 1979. Production de jeunes peuplements de chênes en relation avec la station. Mitt. schweiz. Centralanst.

Schwappach, A. 1902. Unterschungen über Wachstum und Ertrag normaler Fichtenbeständes in Preussen. Neudamm Verlag, Berlin. 199 p.

Tesch, S.D. 1981. The evolution of forest yield determination and site classification. For. Ecol. Manage. 3:169-182.

Tveite, B. 1969. A method for construction of site-index curves. Medd. Nor. Skogforsoksves. 97:132-159.

Veuilleux, J.-M.; Sheedy, G. 1978. Projet interprovincial de fertilisation des forêts naturelles. I-Effets de la fertilisation sur quelques caractéristiques de sept sapinières en Gaspésie. Qué. Minist. Terres For. Serv. Rech. Mém. n° 45.

Vézina, P.-E.; Linteau, A. 1968. Growth and yield of balsam fir and black spruce in Quebec. Can. For. Res. Lab. Inf. rep. Q-X-2.

Villeneuve, P. 1971. Calcul de l'erreur d'échantillonnage. Qué. Min. Terres For. Serv. Rech. Mém. n° 5.

Zarnovican, R. 1979. Fonction de la croissance de Korf. For. Chron. 55:194-197.

Zarnovican, R. 1981. A propos de l'âge du sapin baumier et de sa détermination. Can. J. For. Res. 11:805-811.

Zarnovican, R. 1982. Examen de quelques relations allométriques chez le sapin baumier et l'épinette blanche. Can. J. For. Res. 12:171-180.

Zarnovican, R.; Gerardin, V.; Ducruc, J.P.; Jurdant, M; Audet, G. 1976. Les régions écologiques du territoire de la Baie James. Environ. Can. Rapp. ETBJ n°, 28, Env. Can.-SDBJ. 12. p.

Environnement Canada
Service canadien des forêts

Environment Canada
Canadian Forestry Service

Production stationnelle dans les sapinières en Gaspésie, Québec

R. Zarnovican

Rapport d'information LAU-X-64

Centre de recherches forestières des Laurentides

Environment Canada Environnement Canada
001 00240 VOL ISS 64 1983
EXC # 001
SB 761 C32B
RAPPORT D INFORMATION (CENTRE DE RE
CHERCHES FORESTIERES DES LAURENTIDE
OOFF

CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES DES LAURENTIDES

Le Centre de recherches forestières des Laurentides (CRFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF), au sein d'Environnement Canada. Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CRFL visent à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FOREST RESEARCH CENTRE

The Laurentian Forest Research Centre (LFRC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS), within Environment Canada. The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFRC work at solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

Production stationnelle dans les sapinières en Gaspésie, Québec

R. Zarnovican

Rapport d'information LAU-X-64

1983

Centre de recherches forestières des Laurentides

Service canadien des Forêts

Environnement Canada

Des exemplaires vous sont offerts gratuitement au:
Centre de recherches forestières des Laurentides
Service canadien des forêts
Environnement Canada
1080, route du Vallon
C.P. 3800
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

N° de catalogue Fo46-18/64F
ISSN 0703-2196
ISBN 0-662-92432-0

©Ministère des Approvisionnements et Services Canada, 1983

This publication is also available in English under the title "Yield of balsam fir stands in the Gaspé Region of Québec."

TABLES DES MATIÈRES

	Pages
LISTE DES TABLEAUX	ii
LISTE DES FIGURES	iii
RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	v
INTRODUCTION	1
Enoncé du problème et but du travail	2
Description biophysique du massif boisé	3
MÉTHODES ET MATÉRIEL	4
Protocole dendrométrique	5
Protocole écologique	5
Analyse et traitement des données	6
RÉSULTATS ET DISCUSSION	7
Description des peuplements du massif boisé	7
Structure des peuplements	8
Composition floristique des strates inférieures	16
a. Établissement des groupes coenologiques	17
b. Quelques précisions sur la synécologie de trois principaux groupes coenologiques	22
Hauteur des arbres comme indice de la fertilité des stations	25
Croissance en hauteur des arbres: un bref examen	25
Etablissement des courbes de fertilité	28
CONCLUSION	42
REMERCIEMENTS	43
RÉFÉRENCES	43

LISTE DES TABLEAUX

		Page
Tableau 1.	Composition des peuplements forestiers de la Gaspésie avant 1938 d'après Gobeil (1938)	8
Tableau 2.	Matrice des corrélations simples entre les 17 espèces	19
Tableau 3.	Valeurs propres, pourcentages et pourcentages cumulés pour K^3 de l'analyse en composantes principales de la matrice espèce-espèce	20
Tableau 4.	Coordonnées des 17 espèces dans l'espace K^3 avec la fidélité de leur projection dans K^3	20
Tableau 5.	Présence relative (%) des 5 groupes coenologiques dans 52 stations, avec l'identification de stations par le groupe coenologique	21
Tableau 6.	Matrice des corrélations simples entre les groupes coenologiques et entre les groupes coenologiques et les principales variables dendrométriques et pédologiques	24
Tableau 7.	Domaine de croissance en hauteur chez le sapin baumier par classe d'âge de 5 ans	31
Tableau 8.	Les paramètres de la fonction de Korf pour 5 courbes du domaine de croissance en hauteur chez le sapin baumier	35
Tableau 9.	Croissance en hauteur du sapin baumier dans les stations typiques ou dominées par le premier groupe coenologique exprimée par la hauteur moyenne selon la classe d'âge de 5 ans	40
Tableau 10.	Croissance en hauteur du sapin baumier dans les stations typiques ou dominées par le troisième groupe coenologique, exprimée par la hauteur moyenne selon la classe d'âge de 5 ans	40
Tableau 11.	Croissance en hauteur du sapin baumier dans les stations typiques ou dominées par le cinquième groupe coenologique exprimée par la hauteur moyenne et la classe d'âge de 5 ans	41
Tableau 12.	Densité du bois de sapin baumier selon le groupe coenologique	41

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1.	Distribution des stations d'étude selon leur surface terrière et leur nombre de tiges, chaque station est identifiée par le taux d'utilisation d'espace disponible.	10
Figure 2.	Superficie moyenne par arbre d'après la surface terrière moyenne de 52 stations d'étude.	11
Figure 3.	Distribution des stations d'étude selon leur nombre de tiges et leur surface terrière moyenne.	12
Figure 4.	Distribution des stations d'étude selon leur hauteur réduite et leur surface terrière moyenne.	12
Figure 5.	Distribution du nombre de tiges selon la classe du dhp.	14
Figure 6.	Distribution des stations d'étude selon le coefficient d'asymétrie et la surface terrière moyenne; chaque station est identifiée par le coefficient d'aplatissement.	15
Figure 7.	Distribution des groupes coenologiques typiques et dominants selon la superficie moyenne par arbre et la surface terrière moyenne.	23
Figure 8.	Croissance en hauteur de deux sapins baumiers.	23
Figure 9.	Temps de passage en hauteur chez le sapin baumier selon la période.	27
Figure 10.	Accroissement annuel courant en hauteur pour l'épinette noire sur deux stations différentes.	27
Figure 11.	Domaine de croissance en hauteur chez le sapin baumier.	30
Figure 12.	Variabilité de la croissance en hauteur selon l'âge.	30
Figure 13.	Expression graphique de la relation entre C_2 et H_{50}.	32
Figure 14.	Expression graphique de la relation entre C_3 et H_{50}.	32
Figure 15.	Courbes de fertilité pour le sapin baumier.	34

Page

Figure 16.	Courbes des accroissements annuels courants en hauteur pour le sapin baumier.	34
Figure 17.	Comparaison des courbes de fertilité avec quelques courbes de hauteurs établies par l'analyse de tiges.	36
Figure 18.	Comparaison des courbes de fertilité avec les courbes publiées par Ker (1976) et Vézina et Linteau (1968).	36
Figure 19.	Croissance en hauteur d'après les courbes de fertilité et d'après les groupes coenologiques (1er, 3e, 5e) selon l'âge.	37
Figure 20.	Niveau de production de stations d'étude, exprimé par la surface terrière de plein boisement à ha selon le dhp moyen de peuplements.	38

RÉSUMÉ

Le présent travail examine la production stationnelle des sapinières de Gaspésie, au moyen de 52 stations d'étude provenant du massif boisé du Lac Joffre.

L'évaluation de la qualité stationnelle est faite à l'aide des indices dendrométriques et floristiques, mais principalement à l'aide des indices de fertilité à l'âge de 50 ans. Les indices de fertilité sont établis à l'aide de la fonction de croissance de Korf et des données sur la hauteur et l'âge total à partir d'analyse de 97 sapins [*Abies balsamea* (L.) Mill.] dominants.

Bien que le domaine de la croissance en hauteur à 50 ans soit suffisamment grand pour refléter plusieurs classes de fertilité, la comparaison de la croissance apicale de différents groupements végétaux, ainsi que la comparaison de la densité du bois ne les confirment pas. De plus, l'ordination des stations selon la surface terrière de plein boisement et le dhp moyen met en évidence l'existence d'un seul niveau de production. Les résultats indiquent que la qualité stationnelle de l'ensemble de sites considérés est la même et que les indices de fertilité ne reflètent que la variabilité dans la croissance en hauteur, résultat probable des épidémies répétées de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et de ses conséquences.

ABSTRACT

The yield of balsam fir stands is examined from results of 52 forest stands in the Joffre Lake area in Quebec's Gaspé region.

Site quality was based on site index (i.e. average height at 50 years) and some stand characteristics. Site index curves were established on the basis of Korf's growth function, from stem analysis of 97 dominant balsam fir [*Abies balsamea* (L.) Mill.] trees.

Even though at 50 years the height-growth range represent a sufficiently large variation reflecting the possibility of several site classes, the comparison of height growth and wood density in different plant groups do not confirm these results. Moreover, the ordination of fully stocked stands according to mean dbh indicate that yield level was the same for the group of sites studied and that site indices reflect nothing more than variations in height growth, which may be explained by the effects of repeated spruce budworm outbreaks.

INTRODUCTION

L'augmentation constante de la consommation de la matière ligneuse par l'industrie forestière québécoise imposera sûrement la mise en oeuvre de principes d'aménagement intensif.

Or, comme l'ont fait remarquer Bolghari et Vézina (1975), l'élaboration de tels principes sera facilitée par des données précises sur la production de peuplements forestiers au niveau stationnel, et surtout par la connaissance des facteurs qui ont une incidence directe sur cette production. Il devient donc primordial d'une part, de définir les meilleures façons de mesurer la production ligneuse et d'autre part, d'analyser, évaluer et si possible, mesurer les facteurs du milieu pouvant influencer directement cette production.

Parmi les méthodes d'étude des facteurs du milieu, il faut signaler, dans le contexte québécois, l'application de l'approche de Cajander par Linteau (1957) et Lafond (1967) et celle de Braun-Blanquet par Jurdant (1964) et autres.

Parmi ces auteurs, seuls à notre connaissance, Linteau et Lafond ont abordé l'évaluation de la production et des facteurs écologiques dans les sapinières. Ainsi, Linteau (1957) a établi une classification écologique des stations forestières pour le territoire appelé par cet auteur "des Conifères du Nord-Est". Le milieu de croissance était classé selon les critères floristiques et édaphiques, tandis que la productivité était estimée à partir d'un modèle graphique d'indice de fertilité (I50) à l'âge de référence de 50 ans. Notons au passage que les paramètres "guides", d'une station étaient la hauteur dominante et l'âge total. A partir des paramètres "guides" on a attribué à la station un indice de fertilité et une classe de fertilité. Il convient de rappeler que le faisceau des courbes d'indices de fertilité est un modèle "anamorphe" *sensu* Tesch (1981) et il est destiné au deux essences, soit l'épinette noire [*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.] et le sapin baumier [*Abies balsamea* (L.) Mill.].

Lafond (1967) a également abordé le rapport station-production ligneuse. Le milieu de croissance est identifié et classé à l'aide de la végétation arborescente, arbustive et herbacée pour former le type forestier auquel l'auteur attribue une classe de productivité. L'examen des travaux cités plus haut permet de constater que l'effort fut consacré d'avantage à l'étude de la végétation et du sol, qu'à l'évaluation de la productivité sur le plan dendrométrique.

Énoncé du problème et but du travail

L'aptitude d'une station à produire la matière ligneuse est évaluée par la vitesse de cette production à l'aide de différents indices. Cet aspect fut étudié par Decourt (1973) et cet auteur en a reconnu cinq principaux types, à savoir: les indices climatiques, floristiques, dendrométriques, écologiques et mixtes.

D'une façon générale, la pratique forestière utilise surtout les indices dendrométriques et notamment celui basé sur la hauteur à un âge donné, qu'on appelle "indice de fertilité" ou "site index". La hauteur est choisie de préférence à toute autre caractéristique dendrométrique, puisqu'elle ne dépend que très faiblement du taux de boisement au sens de Zarnovican (1982), qu'elle est en corrélation étroite avec la production totale en volume et qu'elle est pratiquement indépendante des interventions sylvicoles. Cette assertion est connue sous le nom de "loi de Eichhorn élargie", mais comme il a été démontré par Assmann (1955, 1961, 1965, 1974) la liaison hauteur production totale existe si le niveau de production est le même.

Le faisceau des courbes de fertilité est établi selon deux méthodes principales à savoir la méthode dite spatiale avec les courbes dites anamorphes et la méthode temporelle à partir de l'analyse de tiges avec les courbes dites polymorphes, Tesch (1981). La méthode dite temporelle est préférée à toute autre puisque, suite aux travaux de Curtis (1964), Heger (1968), Beck (1971), Carmean (1979), Griffin et Johnson (1980), les avantages en sont évidents.

L'évaluation de la productivité des sapinières à l'aide de courbes polymorphes a été effectuée par Griffin et Johnson (1980) dans l'Etat du Maine, mais, à notre connaissance, cet indice de productivité n'a jamais été établi pour les sapinières du Québec et particulièrement celles de la Gaspésie. Afin de vérifier l'efficacité de différents indices de productivité, nous nous proposons d'examiner la structure des peuplements d'étude et en particulier l'évolution dans le temps de la structure "diamétrale", basée sur la distribution du nombre de tiges par classe du dhp. De plus, nous examinerons les relations entre le nombre des tiges et le dhp moyen des peuplements, la hauteur réduite des peuplements et le dhp moyen et nous comparerons nos résultats avec les résultats d'autres auteurs afin d'établir si l'ensemble des 52 stations d'étude peut être considéré comme une série de croissance au sens de Turnbull (1963)[1]. Dans un deuxième temps, nous classerons la végétation des peuplements étudiés et nous établirons les groupes coenologiques et leur valeur indicatrice sur la productivité des sapinières.

Toutefois, nos efforts porteront surtout sur l'examen de la croissance en hauteur chez le sapin baumier et sur les principaux facteurs qui l'influencent, pour établir les indices de fertilité à partir des courbes polymorphes. Finalement, nous examinerons la valeur pratique des indices floristiques et des indices de fertilité en comparant nos résultats avec les résultats sur la densité du bois sec et nous examinerons le niveau de production de 52 stations d'étude.

Description biophysique du massif boisé

Le massif boisé du Lac Joffre est situé à cheval entre les cantons Joffre et Dunière dans le comté de Matane, et plus particulièrement entre 48°43'30" et 48°46'30" de latitude nord et entre 66°34'00" et 66°40'30" de longitude ouest. De forme rectangulaire, le massif a une superficie d'environ 45 km^2. Sur le plan orographique, le massif fait partie de la plaine

---

[1] Population dynamics in mixed forest stands. A system of mathematical models of mixed stand growth and structure. Thèse, non publiée, Washington, 186 p.

méridionale, au sud de la chaîne principale de Chic-Chocs, dont elle est séparée par un profond sillon. L'altitude du massif varie entre 290 et 580 m, le relief y est montueux avec des pentes très prononcées dans la zone de l'ancienne érosion fluviale.

La plus grande partie du territoire a pour substrat des grès schisteux finement grenus avec quelques affleurements de dolomie. Le dépôt de surface est formé essentiellement de saprolite dont l'épaisseur varie de 2 à 5 m; par contre le dépôt glaciaire est pratiquement inexistant et, lorsqu'il est identifiable, il dépasse rarement quelques dizaines de centimètres (Lebuis et David 1977).

Le climat de Chic-Chocs fut l'objet d'une étude de Gagnon (1970). On peut caractériser le climat du massif boisé de la façon suivante: la température annuelle moyenne est de 0 à +2°C, avec des précipitations totales annuelles variant entre 1016 et 1219 mm, dont la moitié sont des averses de neige (380 à 500 cm). La période de croissance est relativement courte et n'excède pas 80 jours par année. D'après la classification de Rowe (1972) le massif fait partie de la section B.2 - Gaspésie.

Quant aux sols du massif boisé, ils appartiennent au sous-groupe podzol humo-ferrique orthique au sens de la Commission canadienne de pédologie (C.C.P., 1978), avec granulométrie squelettique loameuse, et contact lithique généralement supérieur à un mètre. D'après la réaction, on peut parler dans l'ensemble de sols acides à l'exception de quelques profils décrits sur la dolomie, dont la réaction fut neutre. Le taux de saturation en bases est faible, et il ne dépasse guère 8 % pour les horizons B.

MÉTHODES ET MATÉRIEL

Nous avons établi 52 stations d'étude de forme circulaire d'une surface de 500 m^2 dont le rayon fut ajusté selon la pente.

Le choix de l'emplacement de la station fut effectué selon l'homogénéité des critères suivants:

-critères écologiques, comme la pente, l'exposition, la position sur la pente, le drainage, qui peuvent à priori influencer la croissance;

-critères dendrométriques, tel l'état du couvert arborescent, la présence de perturbations, etc.

Les stations ont été établies le long de transects, dont l'orientation correspond au gradient écologique reconnaissable sur les photos aériennes noir et blanc à l'échelle de 1:15 000. Il convient de préciser que nous avons éliminé de notre échantillonnage les dépôts organiques et les superficies récemment coupées.

Protocole dendrométrique

Dans chaque station d'étude nous avons énuméré les tiges par classe du dhp de 2 cm pour toutes les essences à partir de 4 cm au dhp. De plus de 2 à 4 arbres furent abattus. Le choix des arbres a été fait de telle sorte qu'ils ne présentaient aucun défaut visible sur la cime et sur le tronc, de plus leur dhp devait être le plus près du dhp du 95 percentile sur la courbe cumulative du nombre des tiges. Les arbres ainsi choisis ont été découpés en sections de 1 m de longueur, sauf pour la section de souche, laquelle était de 80 cm. Le premier disque a été prélevé à 40 cm au-dessus du sol. Au total nous avons prélevé les disques de 111 arbres dominants de sapin baumier et de 23 épinettes blanches sur lesquels nous avons effectué l'analyse complète des tiges.

Protocole écologique

La description de chaque station sur le plan biophysique comprenait trois séries d'observations, à savoir; le milieu physique, la végétation des strates herbacées, et finalement le sol. Le milieu physique a été décrit par la pente, l'exposition, la forme de la pente, la position sur la pente et le microrelief.

La végétation des strates inférieures a été échantillonnée par la méthode des segments (Godron 1971)[2]. Le dispositif expérimental en forme

---

2 Essai sur une approche probabiliste de l'écologie des végétaux. Thèse, non publiée, Montpellier, 245 p.

de croix, orienté systématiquement selon les points cardinaux, était composé de deux cordes perpendiculaires de dix segments d'un mètre chacun. Le point d'intersection des deux cordes correspondait au centre de la station et au-dessus de chaque segment la fréquence d'apparition des espèces fut notée. Soulignons que la végétation arborescente a été analysée selon la proportion des différentes essences en pourcentage de la surface terrière totale de la station. Le sol de la station a été étudié à l'aide du profil localisé près du centre de la station et décrit selon les critères de la Commission canadienne de pédologie (C.C.P., 1978). Notre description portait sur l'épaisseur, les limites, la couleur, le pH, la consistance, la texture, la structure et la pierrosité des horizons. Finalement, nous avons prélevé 5 échantillons d'humus d'une façon systématique au milieu du rayon de la station à partir du nord à 72° d'intervalle.

Analyse et traitement des données

Les données dendrométriques concernant la croissance des arbres proviennent exclusivement d'analyses de tiges. C'est une technique très efficace et son usage est ancien (Guttenberg 1915). Elle se prête bien à l'analyse de la croissance et notamment à l'établissement des courbes d'indices de fertilité (Curtis 1964; Guttenberg 1915; Schwappach 1902; Duchovnikov 1972; etc.). Nous avons suivi la méthodologie de Korf (1953) pour effectuer l'analyse des tiges, et établir les données dendrométriques de base à savoir: l'âge, la hauteur, le dhp, la surface terrière, le volume, la hauteur réduite et le coefficient de forme. Dans l'établissement des courbes d'indices de fertilité, nous nous sommes inspirés des méthodologies de Panek (1976) et de Tveite (1969). Quant à l'expression mathématique de la croissance, nous avons utilisé avec profit la fonction de croissance de Korf (Zarnovican 1979), dont les paramètres furent définis à l'aide de programme "PAR" du Biomedical Computer Programs, P-series (Dixon 1977).

L'analyse de la végétation des strates inférieures et notamment l'établissement des groupes coenologiques ont été effectués à l'aide de l'analyse en composantes principales, et les calculs inhérents ont été effectués grâce aux programmes "Sacados" de Boudoux et Bonenfant (1979).

Les analyses des sols et de l'humus ont été effectuées selon les méthodes prônées par la Commission canadienne de pédologie (McKeague 1977), pour établir notamment le pH et l'azote total des humus, le carbone humique et fulvique et la texture du sol minéral exprimée par le diamètre des particules à 50 % de la courbe texturale. Quant à l'étude de la densité du bois, trois échantillons furent prélevés de chaque tiers de l'arbre, puis séchés au poids constant et mesurés pour déterminer le poids spécifique.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Description des peuplements du massif boisé

Les peuplements forestiers du massif boisé du Lac Joffre sont nettement dominés par le sapin baumier; selon les données de 52 stations d'étude cette essence occupe en moyenne 83 % (s_x=10 %) de la surface terrière. L'épinette blanche, même si elle est constamment présente, n'occupe que 14 % (s_x=9 %) de cette surface terrière. Quant aux autres essences (bouleau blanc [*Betula papyrifera* Marsh.] et épinette noire), elles n'occupent sporadiquement que 2 à 3 % de la surface terrière des peuplements étudiés.

Il est difficile d'établir que cette composition est climacique, puisqu'aucune recherche historique sur cette question n'a été effectuée dans la région. En l'absence des données forestières au Service de l'inventaire du Ministère d'Énergie et des Ressources du Québec pour la région d'étude d'avant 1965, la reproduction des données sur la composition des forêts en Gaspésie publiées par Gobeil en 1938, nous parait extrêmement utile.

Les données du tableau 1 mettent en évidence que dans la composition des peuplements avant 1938, la proportion d'épinette blanche et des feuillus était 3 fois supérieure à celle d'aujourd'hui. Mais suite aux attaques de la mouche à scie [*Gilpinia hercyniae* Htg.] et du dendroctone [*Dendroctonus piceaperda* Hopk.] de l'épinette blanche (Gobeil 1938 et Martineau 1943) dans les années 1935-1940, et au dépérissement du bouleau à papier vers la même période (Martineau, communication personnelle), sans

Tableau 1. Composition des peuplements forestiers de la Gaspésie avant 1938 d'après Gobeil (1938)

Bassins de rivière	Pourcentage en volume				
	Épinette	Sapin	Cèdre	Pin	Feuillus
Matane Cap Chat Sainte-Anne Marsouis Madeleine Darmouth York Saint-Jean Malbaie Grande Rivière Grand Pabos Petit Pabos Duval Hall Bonaventure Petite Cascapedia Grande Cascapedia Saumons Nouvelle Escuminac	33 36 41 27 27 39 20	49 52 38 37 36 50 52	1 1 3 5 2 1 4	 1 1 4 1 - 1	17 10 7 27 34 10 23
Total	34	46	2	1	17

Détails pour feuillus: Bouleau 51; Tremble 34; Merisier 11.

oublier les coupes abusives, la composition des peuplements dans la région du massif boisé a changé. Le sapin baumier a été favorisé au détriment de l'épinette blanche et du bouleau à papier, lequel sapin baumier est devenu à son tour une proie facile de la tordeuse des bourgeons de l'épinette [*Choristoneura fumiferana* (Clem.)]. Devant cette situation, il nous paraît présomptueux d'établir la composition climacique à partir des simples relevés floristiques actuels. Nous sommes d'avis que, dans l'aménagement des sapinières, on devrait procéder à leur conversion pour former des peuplements plus résistants dont la composition serait déterminée par une étude historique et écologique sérieuse.

Structure des peuplements

Nous avons démontré dans une étude récente, qu'il existe une grande similitude morphologique entre le sapin baumier et l'épinette blanche

(Zarnovican 1982). De plus, il nous a été possible d'établir, à l'aide d'un modèle prédictif linéaire, le boisement naturel de nos 52 stations d'étude. Pour cette raison, nous abordons la structure "diamétrale" de peuplements par l'examen de leur boisement. A cette fin, nous avons reproduit à la figure 1, la distribution de 52 stations selon leur surface terrière et le nombre des tiges par station. En plus d'y reproduire les isolignes qui rejoignent les stations de même boisement, nous y avons reproduit, à titre de comparaison, les données de tables de rendement de Ker (1976), de Vézina et Linteau (1968), de Boudoux (1978), pour le sapin baumier et les données de Hausser in Korf (1953) pour le sapin pectiné. Il faut noter que l'ensemble de nos stations, malgré une variabilité évidente, représente une distribution logique, c. à d. pour le même taux d'utilisation et un nombre de tiges croissant, la surface terrière décroît, ce qui se confirme aussi dans les résultats des auteurs précédemment cités. En comparant le taux maximal d'utilisation, qui correspond d'après nos résultats à 84 %, on remarque une similitude entre nos données et celles de Ker (1976), tandis que le boisement de Vézina et Linteau (1968) correspond à environ 70 % du nôtre. Quant aux données de Boudoux (1978), la comparaison met en évidence le taux d'utilisation remarquablement faible observé par ce dernier. Ces constatations se confirment dans la comparaison effectuée à la figure 2. Nous y avons ordonné les 52 stations selon la superficie disponible par arbre et par station, et selon la surface terrière moyenne des stations. De plus, nous y avons ajouté les données semblables de Ker (1976), de Vézina et Linteau (1968) et de Boudoux (1978). La relation entre la superficie disponible et la surface terrière moyenne est plus étroite que celle illustrée à la figure 1 et de plus, on peut constater la similitude entre nos données et celles de Ker (1976). Pour évaluer la densité de nos stations nous les avons ordonnés à la figure 3 selon le nombre des tiges, et la surface terrière moyenne, nous y avons reproduit les données correspondantes de Ker, Vézina et Linteau, et Boudoux. L'examen de nos observations révèle l'existence d'une relation très étroite entre le nombre de tiges observées et la surface terrière moyenne de la station. Cette relation peut s'ajuster remarquablement bien par une fonction exponentielle négative:

$$n = 242{,}71\ st_{moy}^{-1{,}028095}$$

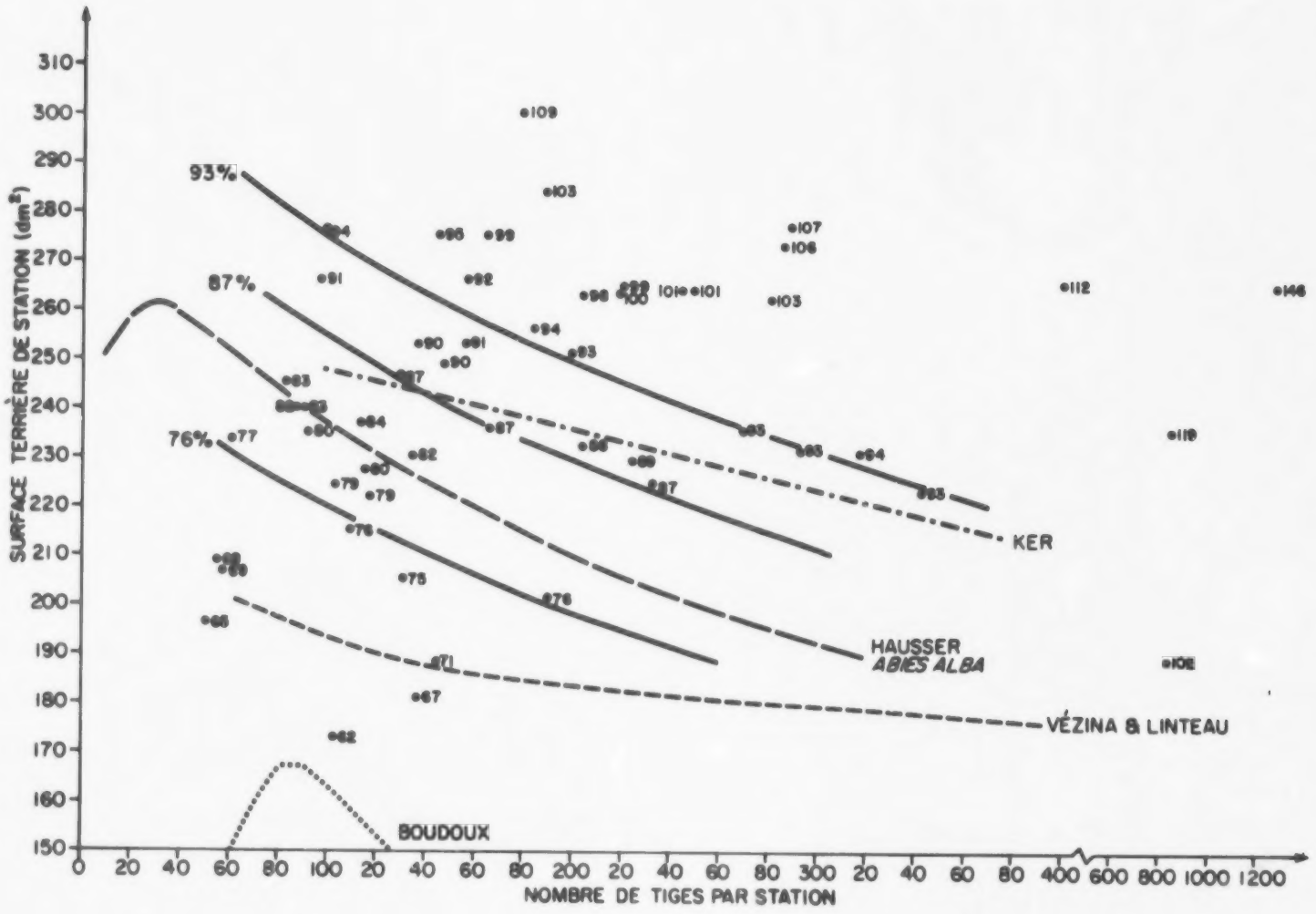

Figure 1. Distribution des stations d'étude selon leur surface terrière et leur nombre de tiges, chaque station est identifiée par le taux d'utilisation d'espace disponible.

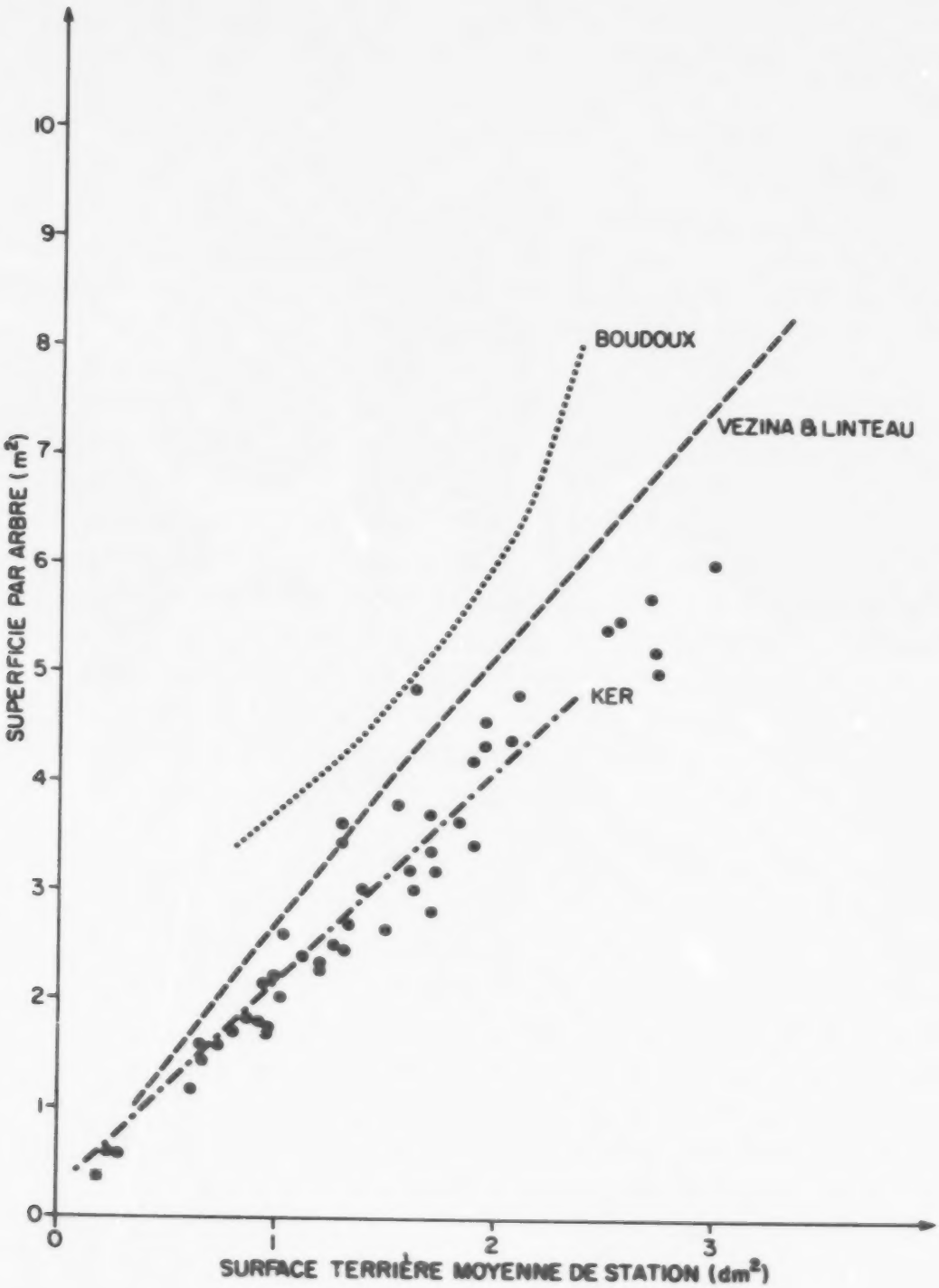

Figure 2. Superficie moyenne par arbre d'après la surface terrière moyenne de 52 stations d'étude.

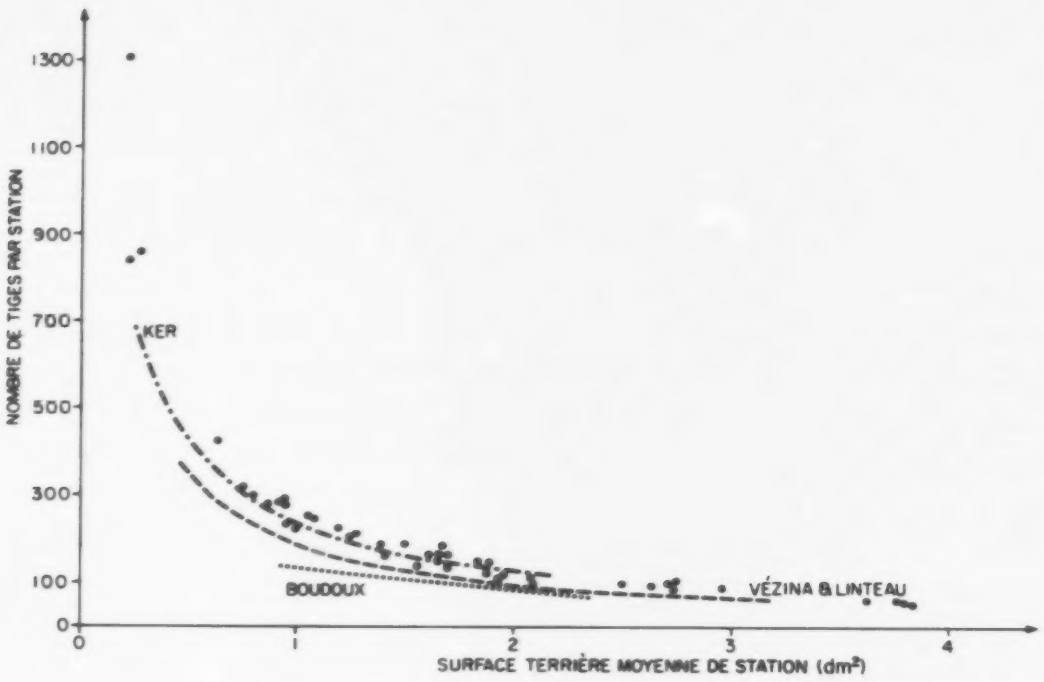

Figure 3. Distribution des stations d'étude selon leur nombre de tiges et leur surface terrière moyenne.

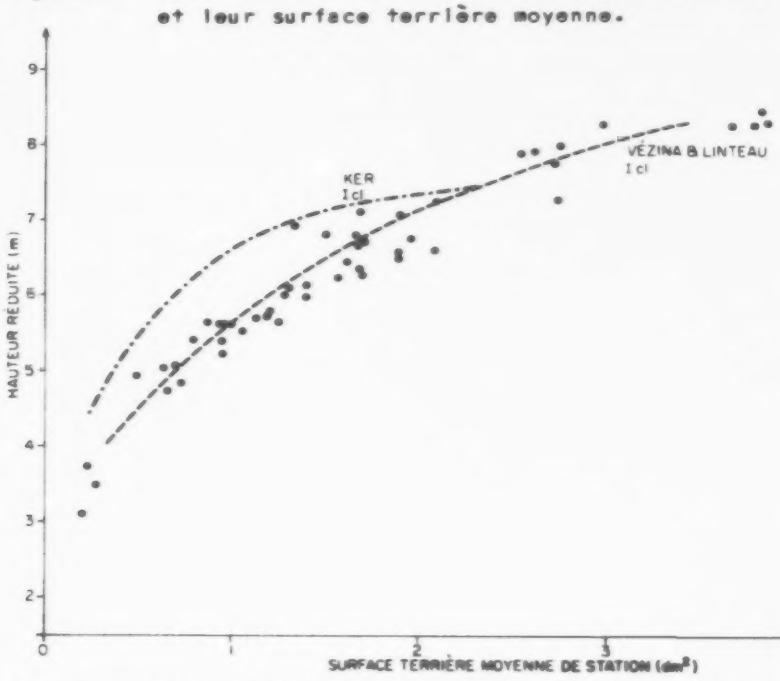

Figure 4. Distribution des stations d'étude selon leur hauteur réduite et leur surface terrière moyenne.

avec un coefficient de détermination R^2 égal à 0,965 et l'erreur-type de l'estimation a pour valeur 18,1 %. A nouveau on peut remarquer la similitude entre les données de Ker et nos observations, par contre il est étonnant de constater que la même relation chez Boudoux est linéaire. La comparaison du taux d'utilisation et de la densité observée dans le massif boisé du lac Joffre avec les données semblables de Ker, Vézina et Linteau, et de Boudoux met en évidence que le boisement naturel est très variable (Zarnovican, 1982), mais qu'il est possible de le corriger à l'aide du taux maximal d'utilisation de la surface disponible, et déceler ainsi le niveau de production des stations d'étude. Selon nos résultats, l'existence d'un seul niveau de production a été constaté pour les 52 stations d'étude.

Parmi les caractéristiques dendrométriques qui permettent de juger la productivité des stations, signalons la hauteur réduite des peuplements. Rappelons que la hauteur réduite est calculée comme étant le rapport entre le volume sur pied et la surface terrière correspondante. La hauteur réduite a été introduite au Québec par Popovich (1974), pour évaluer la productivité des plantations d'épinette blanche sous le vocable "volume par unité de surface terrière". Dans le cas du massif boisé, la distribution de stations d'étude selon leur hauteur réduite et leur surface terrière moyenne (figure 4), met en évidence une relation très étroite entre la hauteur réduite et la surface terrière et son ajustement par une fonction exponentielle,

$$h_{red} = 5{,}5486\ st_{moy}^{0{,}32906}$$

donne les résultats suivants: le coefficient de détermination est égal à 0,956 et l'erreur-type de l'estimation est de 4,4 %. A l'opposé des constatations précédentes, la figure 4 met en évidence la similitude entre les données de Vézina et Linteau (1968) et nos observations, quant aux données de Ker (1976), la figure 4 permet de constater que sa hauteur réduite est nettement supérieure à la nôtre pour la surface terrière moyenne de 0 à 2 dm^2 et qu'elle plafonne nettement après 2 dm^2. Suite aux résultats avec l'ordination de stations d'étude selon le boisement, le nombre de tiges et la hauteur réduite, voir figures 1, 2, 3 et 4, il est naturel de considérer les 52 stations comme une série de croissance. Ainsi,

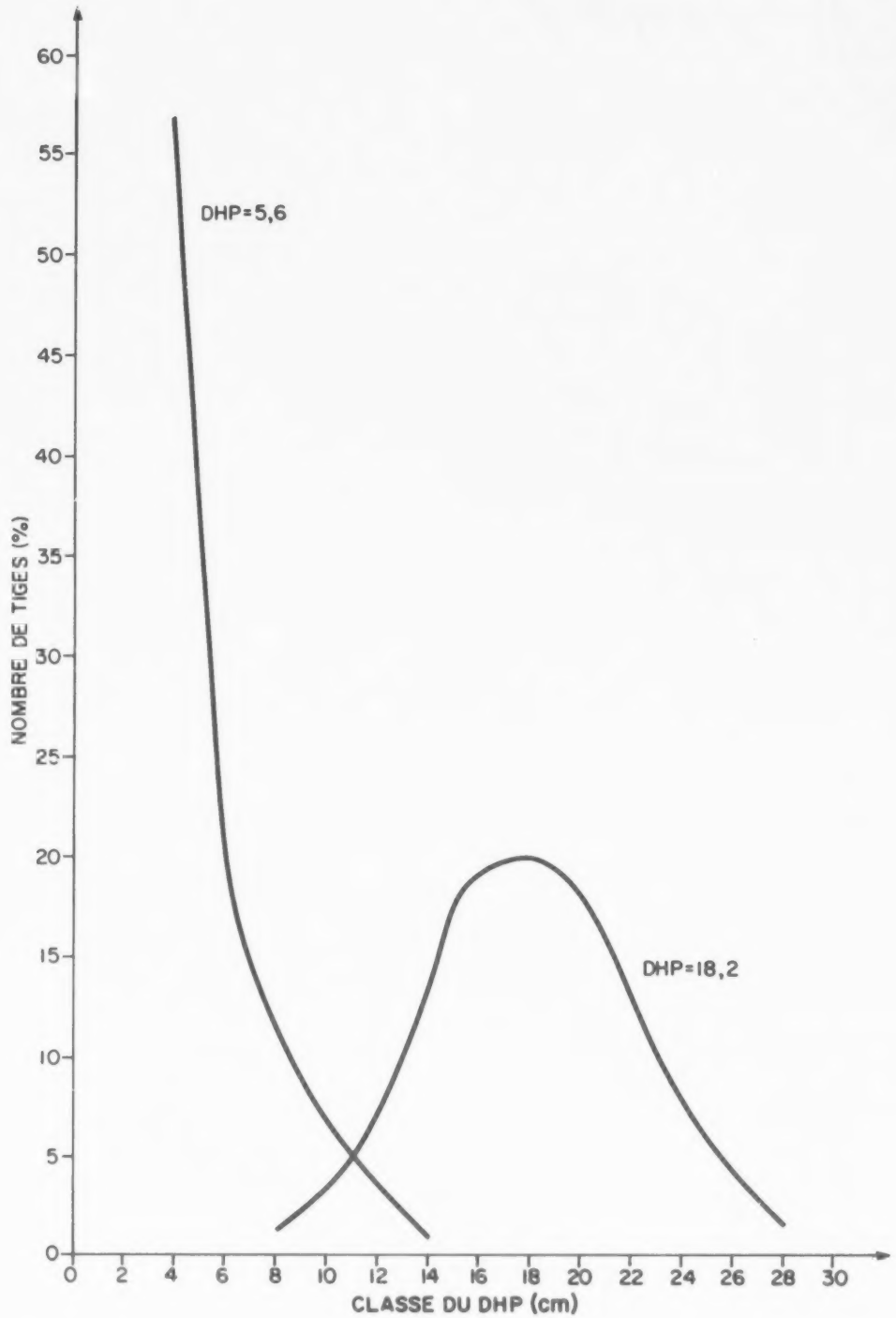

Figure 5. Distribution du nombre de tiges selon la classe du dhp.

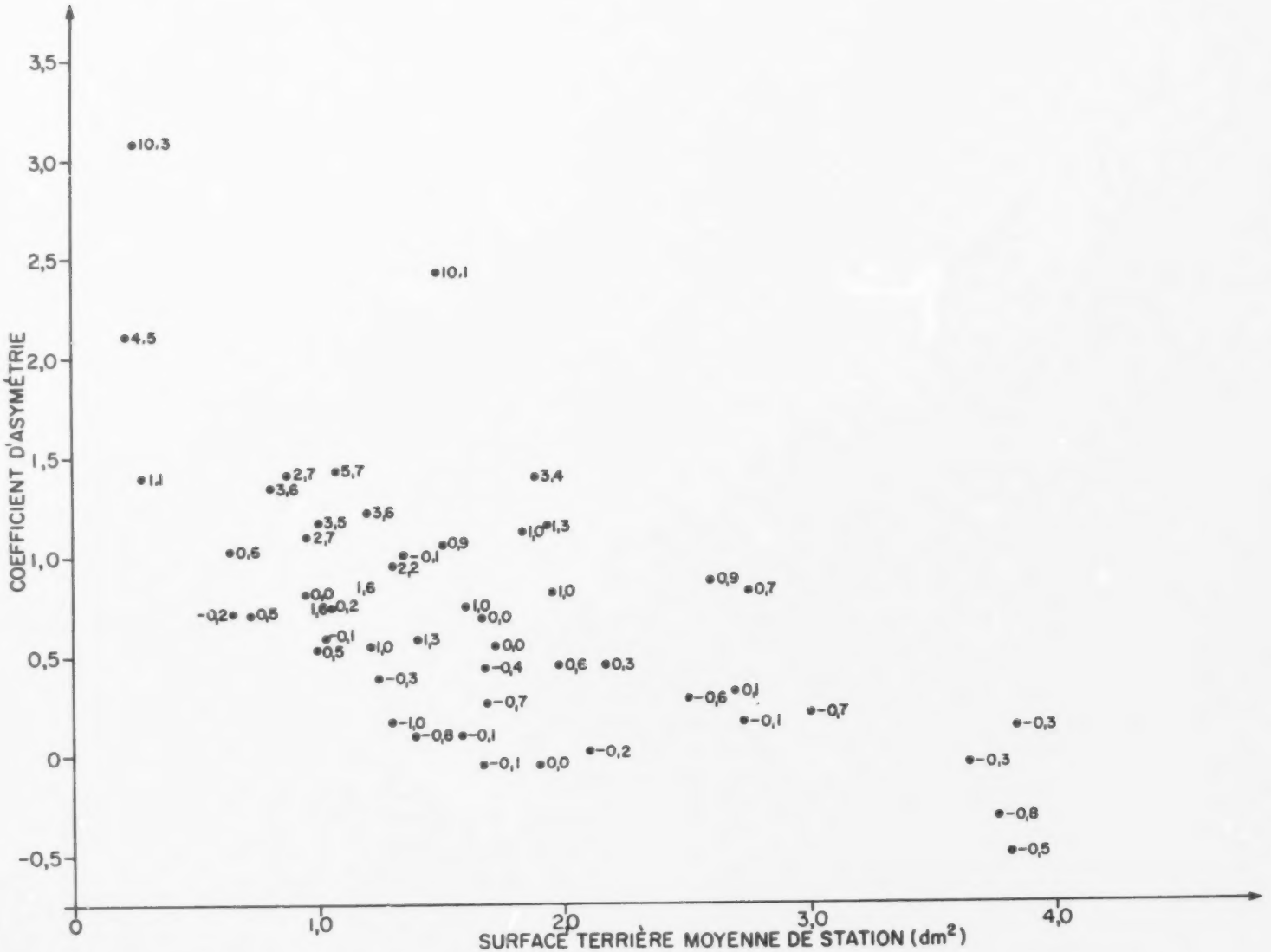

Figure 6. Distribution des stations d'étude selon le coefficient d'asymétrie et la surface terrière moyenne; chaque station est identifiée par le coefficient d'aplatissement.

il apparaît logique d'examiner l'évolution de la structure "diamétrale" des sapinières dans le temps. Cet examen a pour but de connaître si la structure "diamétrale" inéquienne persiste avec le temps, ou au contraire, si les sapinières tendent vers des peuplements normaux. Pour illustrer cette assertion, nous avons reproduit à la figure 5, la distribution du nombre des tiges par classe de diamètre pour deux stations. A gauche de la figure, la distribution correspond au peuplement jeune dont le dhp moyen arithmétique est de 5,6 cm. C'est une distribution asymétrique à gauche avec un coefficient d'asymétrie égal à 1,4 et le coefficient d'aplatissement (la kurtose) a pour valeur 1,1 (valeurs calculées pour le nombre réel des tiges par classe du dhp). La distribution à droite de la figure représente un peuplement plus âgé quasi normal, dont le dhp arithmétique moyen est de 18,2 cm, le coefficient d'asymétrie est égal à 0,1 et le coefficient d'aplatissement est égal à -0,009. Dans le but de connaître, au moins partiellement, la tendance relative au type de distribution "diamétrale" dans le temps pour les sapinières, nous avons ordonné les stations d'étude selon leur coefficient d'asymétrie et leur surface terrière moyenne. Cette ordination est illustrée à la figure 6, où nous avons ajouté audessus des coordonnées (coefficient d'asymétrie par rapport à la surface terrière moyenne) la valeur du coefficient d'aplatissement. A l'examen de cette figure on peut constater que, d'une façon générale, la structure "diamétrale" des sapinières tend, avec l'âge, d'une distribution asymétrique à gauche et leptokurtique vers une distribution normale, ou asymétrique à droite et aplatie. Ceci confirme les observations de Jurdant (1964), à savoir que les vieilles futaies prennent l'aspect d'un peuplement homogène se régularisant avec le temps pour former une forêt unistrate.

Composition floristique des strates inférieures

Une des bases pour l'évaluation de la productivité des sapinières au Québec, est leur composition floristique. Il suffit de rappeler les travaux de Lafond (1967), Linteau (1957) et Jurdant (1964), pour se rendre compte de l'importance qu'on a accordée à la végétation dans la définition de la fertilité des stations, et même pour en distinguer les classes.

Ainsi, grâce à la composition floristique des sapinières, d'après ces auteurs, on peut distinguer deux classes de fertilité:

- la première classe de fertilité est attribuée aux stations forestières à dominance d'herbacées-latifoliées avec fougères;
- la deuxième classe de fertilité est attribuée aux stations forestières à dominance de mousses-hypnacées au niveau des strates inférieures.

C'est sur les classifications de Lafond et de Linteau que se sont fondées plusieurs études dendrométriques en vue de déterminer la qualité stationnelle au Québec, notamment les études effectuées à proximité du massif boisé du Lac Joffre (Bolghari et Vézina 1974, Veuilleux et Sheedy 1978; Villeneuve 1971). D'ailleurs, la signification de la composition floristique des sapinières sur la productivité est exprimée par Jurdant (1964) ainsi: "le tapis muscinal est d'autant plus fourni que la station est plus pauvre", dans le cas des peuplements de sapin à la Forêt expérimentale de Montmorency. En conséquence, il était logique de connaître la composition floristique de nos stations d'étude sous la forme des principaux groupes coenologiques et de vérifier si cette composition avait une signification relativement à la fertilité des stations.

a. Établissement des groupes coenologiques

Les données floristiques des stations, exprimées en fréquences d'apparition, ont été transformées en fréquences relatives et ont servi à l'établissement des groupes coenologiques. Il convient de rappeler que nous avons éliminé des calculs les espèces dont la présence se limitait à trois stations et moins, et seulement 17 espèces ont été retenues. La liaison interspécifique a été évaluée à l'aide des coefficients de corrélations simples, (tableau 2), lesquels coefficients ont servi par la suite à l'ordination des espèces dans les groupes à l'aide de l'analyse en composantes principales. Les paramètres de l'analyse pour l'espace des trois premières composantes se trouvent au tableau 3; quant aux coordonnées des 17 espèces dans l'espace R^3, elles se trouvent au tableau 4. Bien que le pourcentage cumulatif de la variation totale expliquée par les trois premières composantes soit suffisamment grand, il nous paraît justifié de reproduire à la dernière colonne, du tableau 4 la fidélité de la

représentation de chaque espèce par rapport à l'espace R^{17}. L'analyse en composantes principales a permis l'individualisation des 5 groupes coenologiques suivants:

1er groupe	3e groupe	5e groupe
Pleurozium schreberi	*Dryopteris spinulosa*	*Litière*
Ptilium crista-castrensis	*Clintonia borealis*	*Hylocomium umbratum*
Hylocomium splendens	*Oxalis montana*	
Linnaea borealis		

2e groupe	4e groupe
Coptis groenlandica	*Trientalis borealis*
Streptopus roseus	*Aralia nudicaulis*
Chiogenes hispidula	*Acer spicatum*
Maianthemum canadense	*Cornus canadensis*

Même si l'analyse permet l'individualisation de 5 groupes coenologiques, il est important de connaître la valeur pratique de chacun d'eux, au moyen de l'évaluation de leur importance relative dans l'espace floristique disponible de chacune des stations. Cette importance a été mesurée à l'aide du rapport entre la fréquence moyenne du groupe et la somme des fréquences moyennes des cinq groupes. Le résultat du calcul sur l'importance relative des groupes se trouve au tableau 5. A l'examen de ce tableau, on peut constater que les groupes coenologiques 2 et 4 ne sont que des variantes des groupes 1 et 3, et l'on remarquera que les groupes 2 et 4 n'interviennent pas dans l'appellation des stations, à cause de leur faible importance dans l'espace floristique disponible. La classification des 52 stations a été effectuée d'après les critères suivants:

- -une station est dite typique d'un groupe coenologique, lorsque les espèces du groupe occupent 70 % et plus de l'espace floristique disponible;
- -une station est dite dominée par un groupe coenologique, si les espèces du groupe occupent 51 % et plus (moins de 70 %) de l'espace floristique disponible;
- -une station est dite codominée par deux groupes coenologiques lorsque leurs éléments ensemble occupent plus de 75 % de l'espace floristique disponible dans la station, mais qu'aucun des deux critères précédents

Tableau 2. Matrice des corrélations simples entre les 17 espèces

Espèce	Espèce																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1 *Pleurozium schreberi*	x	,65	,63	,05	-,30	-,20	-,16	,32	,26	-,14	,08	-,15	,20	,08	,05	-,24	-,43
2 *Ptilium c.-castrensis*		x	,58	-,13	-,25	-,15	-,29	,31	,47	,00	-,07	-,06	,04	,03	,14	-,23	-,36
3 *Hylocomium splendens*			x	,02	-,45	-,07	-,08	,44	,34	-,02	,14	-,04	,31	,22	,26	-,24	-,23
4 *Oxalis montana*				x	,44	,64	-,18	,32	,04	,50	,47	,30	,10	,13	-,06	,14	-,53
5 *Dryopteris spinulosa*					x	,62	-,22	-,09	-,09	,42	,04	,26	-,15	-,21	,02	,29	-,24
6 *Clintonia borealis*						x	-,20	,42	,09	,69	,33	,46	,16	,14	,00	,32	-,48
7 *Hylocomium umbratum*							x	-,18	-,14	-,25	-,23	-,16	,04	,28	-,11	-,06	,45
8 *Maianthemum canadense*								x	,51	,42	,52	,32	,45	,52	,02	,04	-,40
9 *Linnaea borealis*									x	,29	,15	,17	,08	,27	-,03	-,01	-,17
10 *Cornus canadensis*										x	,45	,68	,33	,18	,14	,16	-,37
11 *Trientalis borealis*											x	,39	,52	,32	,10	,02	-,37
12 *Aralia nudicaulis*												x	,27	,14	,04	,32	-,28
13 *Coptis groenlandica*													x	,49	,54	,03	-,05
14 *Streptopus roseus*														x	,05	-,11	-,09
15 *Chiogenes hispidula*															x	-,06	-,02
16 *Acer spicatum*																x	,15
17 *Litière*																	x

Tableau 3. Valeurs propres, pourcentages et pourcentages cumulés pour K^3 de l'analyse en composantes principales de la matrice espèce-espèce

Composante	Valeur propre	Pourcentage de variance	Pourcentage cumulatif
1	4,49626	26,45	26,45
2	3,35390	19,73	46,18
3	1,98313	11,67	57,85

Tableau 4. Coordonnées des 17 espèces dans l'espace K^3 avec la fidélité de leur projection dans K^3

	Espèce	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Fidélité de la projection en %
1	*Pleurozium schreberi*	0,289	0,707	0,322	69
2	*Ptilium c. castrensis*	0,247	0,711	0,420	74
3	*Hylocomium splendens*	0,350	0,763	0,040	71
4	*Oxalis montana*	0,640	-0,358	0,158	56
5	*Dryopteris spinulosa*	0,270	-0,723	0,311	69
6	*Clintonia borealis*	0,708	-0,490	0,120	76
7	*Hylocomium umbratum*	-0,370	0,016	-0,576	47
8	*Maianthemum canadense*	0,764	0,289	-0,162	69
9	*Linnaea borealis*	0,429	0,367	0,078	32
10	*Cornus canadensis*	0,763	-0,362	-0,060	72
11	*Trientalis borealis*	0,686	-0,400	-0,267	54
12	*Aralia nudicaulis*	0,603	-0,352	-0,137	51
13	*Coptis groenlandica*	0,510	0,233	-0,641	72
14	*Streptopus roseus*	0,396	0,255	-0,610	59
15	*Chiogenes hispidula*	0,187	0,188	-0,274	15
16	*Acer spicatum*	0,118	-0,485	-0,074	25
17	*Litière*	-0,678	-0,101	-0,494	71

Tableau 5. Présence relative (%) des 5 groupes coenologiques dans 52 stations, avec l'identification de stations par le groupe coenologique

Station	Groupe coenologique 1	2	3	4	5	Dominance du groupe de la station
1	26	0	28	0	46	mélange
2	74	9	4	0	13	groupe 1 typique
3	49	9	36	6	0	groupes 1, 3 codominent
4	29	4	57	10	0	groupe 3 domine
5	51	10	25	14	0	groupe 1 domine
6	58	5	26	0	11	groupe 1 domine
7	65	2	33	0	0	groupe 1 domine
8	30	8	38	0	24	mélange
9	52	2	40	6	0	groupe 1 domine
10	39	7	44	10	0	groupes 3, 1 codominent
11	64	1	32	3	0	groupe 1 domine
12	17	5	70	8	0	groupe 3 typique
13	80	3	17	0	0	groupe 1 typique
14	84	0	16	0	0	groupe 1 typique
15	59	7	33	1	0	groupe 1 domine
16	61	0	21	0	18	groupe 1 domine
17	26	4	70	0	0	groupe 3 typique
18	2	1	85	12	0	groupe 3 typique
19	29	18	33	20	0	mélange
20	49	4	47	0	0	groupes 1, 3 codominent
21	31	0	0	0	69	groupe 5 domine
22	21	0	17	0	62	groupe 5 domine
23	24	0	56	13	7	groupe 3 domine
24	38	0	45	3	4	groupes 3, 1 codominent
25	20	3	52	6	19	groupe 3 domine
26	36	1	57	4	2	groupe 3 domine
27	38	0	34	0	28	mélange
28	10	1	77	12	0	groupe 3 typique
29	6	0	74	20	0	groupe 3 typique
30	1	2	73	24	0	groupe 3 typique
31	26	0	65	9	0	groupe 3 domine
32	45	2	31	5	17	groupes 1, 3 codominent
33	44	1	23	1	31	groupes 1,5 codominent
34	29	8	30	4	29	mélange
35	41	3	17	0	39	groupes 1, 5 codominent
36	40	1	48	11	0	groupes 3, 1 codominent
37	45	1	42	3	9	groupes 1, 3 codominent
38	35	7	40	8	10	groupes 3, 1 codominent
39	8	1	48	4	39	groupes 3, 5 codominent
40	0	0	12	0	88	groupe 5 typique
41	14	0	20	0	66	groupe 5 domine
42	32	1	11	5	51	groupe 5 domine
43	28	7	11	2	32	mélange
44	13	3	25	0	59	groupe 5 domine
45	54	2	16	2	26	groupe 1 domine
46	28	0	28	3	41	mélange
47	9	0	8	3	80	groupe 5 typique
48	29	0	13	0	58	groupe 5 domine
49	15	3	31	3	48	groupes 5, 3 codominent
50	21	0	30	1	48	groupes 5, 3 codominent
51	45	14	21	4	16	mélange
52	0	4	16	0	80	groupe 5 typique

n'est applicable. La station portera alors le nom du groupe le plus important des deux;

-si aucune des conditions précédentes n'est satisfaite, la station sera dite "mélangée".

Dans la suite de notre travail, nous allons considérer seulement les groupes 1, 3 et 5 pour l'étude de la liaison entre la productivité des stations et les groupes coenologiques.

b. Quelques précisions sur la synécologie de trois principaux groupes coenologiques

Avant d'analyser les relations entre les groupes coenologiques et la productivité des stations forestières, il nous apparaît important d'examiner les relations qui existent entre ces groupes et certaines variables pédologiques et dendrométriques, afin de bien cerner la synécologie et la valeur indicatrice de ces groupes. Pour ce faire, nous avons calculé les coefficients de corrélation simple entre les groupes coenologiques et les variables pédologiques et dendrométriques des 52 stations. Les résultats, sous la forme d'une matrice de corrélations simples, se trouvent au tableau 6. On peut y remarquer l'existence de plusieurs liaisons étroites, entre les groupes d'abord, mais aussi entre les groupes et les variables observées. A la lumière des résultats sur la relation entre les groupes et superficie par arbre, on peut dire que les trois groupes coenologiques reflètent, d'une façon évidente, les phases du développement successif des sapinières dans le temps. Leur apparition est nettement liée à l'ouverture du couvert arborescent ou, en d'autres termes, à la diminution naturelle du nombre des tiges du peuplement, ou à celle provoquée par la mortalité due à la défoliaison par la tordeuse.

Afin de bien illustrer cette assertion, (figure 7) nous avons repris la distribution des stations de la figure 2, en identifiant chaque station par leur groupe coenologique respectif. L'examen détaillé de la figure 7, quant à la relation entre la superficie par arbre, la surface terrière moyenne de la station et la dominance du groupe coenologique,

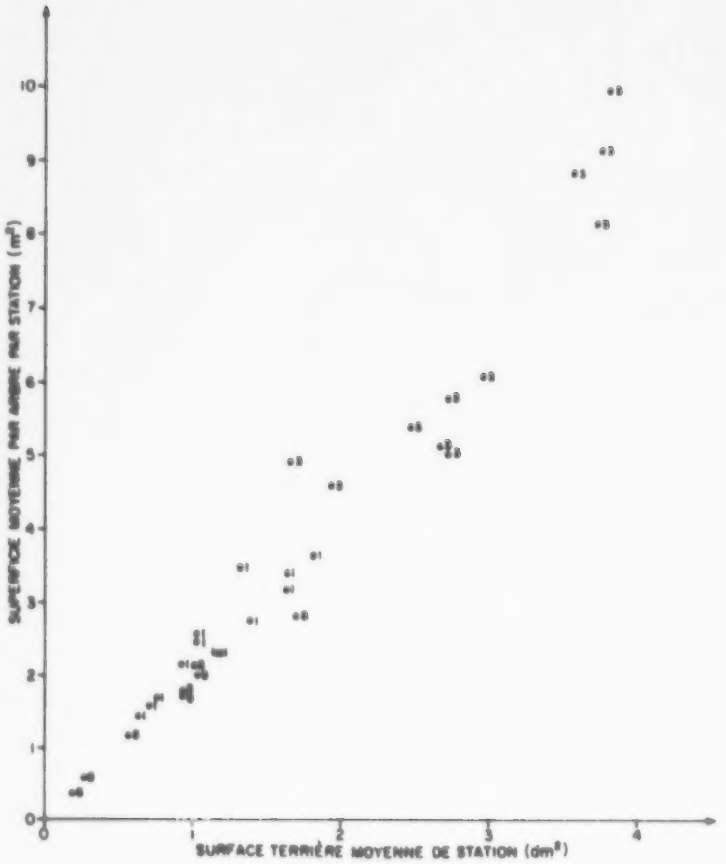

Figure 7. Distribution des groupes coenologiques typiques et dominants selon la superficie moyenne par arbre et la surface terrière moyenne de stations.

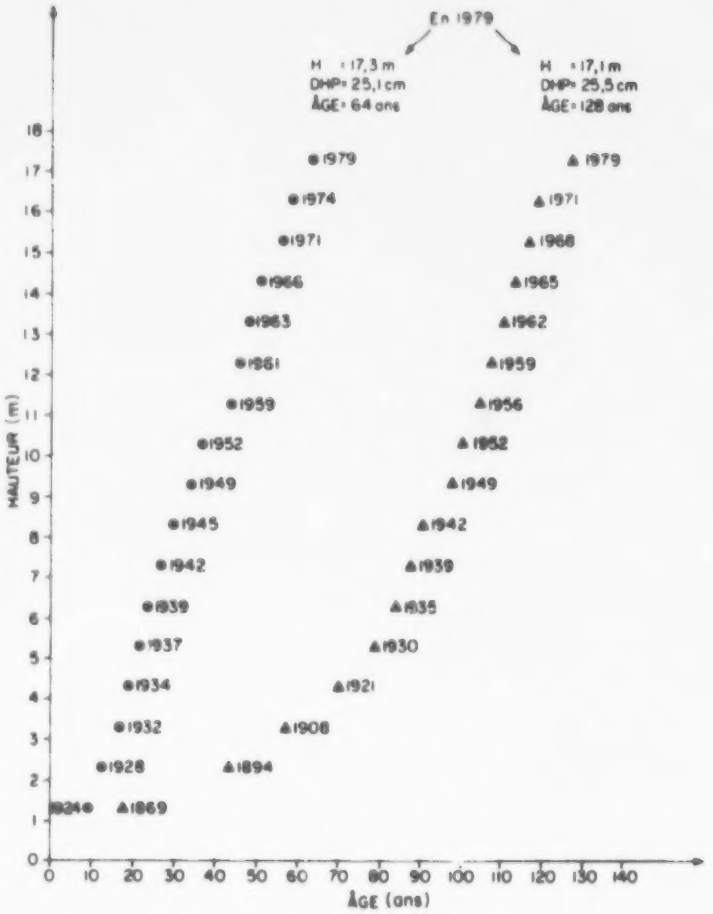

Figure 8. Croissance en hauteur de deux sapins baumiers.

Tableau 6. Matrice des corrélations simples entre les groupes coenologiques et entre les groupes coenologiques et les principales variables dendrométriques et pédologiques

	Groupe 1 *Pleurozium-Hylocomium*	Groupe 3 *Dryoptoris-Oxalis*	Groupe 5 *Litière-Hylocomium-umbratum*
Groupe 3	-,38	x	-,62
Groupe 5	-,49	-,62	x
pH humus	-,49	,31	,13
azote total-humus	-,42	,54	-,15
$C_{humique}$	-,45	,54	-.12
$C_{humique}/C_{fulvique}$	-,57	,50	,02
C/N humus	,43	-,50	,10
Diamètre des particules à 50 % de la courbe	-.03	,24	-,20
Surface terrière moyenne de la station	-,39	,87	-,49
Superficie disponible par arbre dans la station	-,38	,88	-,50

démontre clairement l'existence d'une ordination des groupes dans le temps (puisque la surface terrière est une fonction de temps).

La position respective de trois groupes coenologiques à la figure 7, confirme d'abord la conclusion de Busby *et al.*, (1978), qui affirme: "Les mousses sont limitées, dans les habitats découverts, par les effets de la radiation et de l'évaporation; dans les habitats humides, par la réduction d'assimilation et en raison d'autres effets nuisibles dus à la saturation ou au manque de précipitations sous le couvert des arbres", du moins en ce qui a trait aux mousses. La position du troisième groupe (voir aussi les corrélations entre ce groupe et l'état de l'humus au tableau 6), confirme les conclusions et les résultats de Piene (1978), selon lesquels: "la réduction du nombre des tiges a stimulé le taux de minéralisation du carbone organique et augmenté la teneur en azote minéral. La minéralisation accrue de la

matière organique est attribuable à l'augmentation des températures estivales dans la couche de litière". Ceci est bien confirmé par les corrélations entre les trois groupes coenologiques et l'azote de l'humus, la proportion de la fraction humique et le rapport C/N.

Hauteur des arbres comme indice de la fertilité des stations

Comme nous l'avons souligné plus haut, la qualité stationnelle est évaluée dans la pratique forestière courante, par la hauteur des arbres ou des peuplements à un âge donné. Par ailleurs, à la lumière des résultats d'Assmann, cette évaluation est possible, à condition de connaître le niveau de production des peuplements étudiés. Pour cette raison, nous avons procédé plus haut à l'examen détaillé de la structure des peuplements des stations d'étude, et à l'examen de leur niveau de production (Zarnovican 1982).

Croissance en hauteur des arbres: un bref examen

La croissance en hauteur d'un arbre se manifeste chaque année par l'élongation de la flèche. L'expression graphique de cette croissance d'après l'âge est une courbe ayant l'allure d'un S. La forme de la courbe reflète assez fidèlement, entre autres, les propriétés génétiques de l'espèce, la position sociale de l'arbre (ou l'espace disponible) et la qualité de la station. Grâce à l'analyse de tige, il est relativement aisé de reconstituer la croissance apicale de l'arbre, et pour illustrer cette croissance nous avons reporduit à la figure 8, les résultats d'analyse de tige de deux sapins.

Selon les mesures sur les dhp et la hauteur totale (établies en 1979), on reconnaît facilement que les deux arbres sont pratiquement identiques (dhp égal à 25,1 et 25,5 cm, hauteur égale à 17,3 et 17,1 m), mais lorsqu'on compare leur âge respectif, observé à la souche, à savoir 64 et 128 ans, on constate une différence considérable. Par ailleurs, connaissant l'écologie du sapin baumier, l'arbre de 128 ans a subi une oppression prolongée lors de son jeune âge, en raison d'une position sociale particulière dans le peuplement, laquelle a eu pour effet d'augmenter son âge physique, par rapport à son stade de développement. Il faut noter que

le sapin de 128 ans reprend une croissance normale, dès que l'oppression est terminée, soit vers 1930 ou à partir de 5,3 m de hauteur et que la croissance en hauteur des deux arbres, après 1930, est pratiquement la même. Grâce à l'analyse de tige, on a pu définir la durée de l'oppression et corriger en conséquence les âges physiques des arbres. Par contre, il est pratiquement impossible de mesurer l'effet de certains facteurs sur la croissance apicale, comme par exemple l'effet des maladies et des insectes. Nous allons illustrer l'effet de l'épidémie d'insectes sur la croissance apicale avec le temps de passage en hauteur. Il convient de rappeler que le temps de passage correspond au nombre d'années nécessaires à l'élongation de 1 m de la flèche. A la figure 9, nous avons exprimé le temps de passage sous la forme de sa moyenne et de son écart type, par périodes de 4 ans de 1948 à 1967. On peut constater qu'en général le temps de passage moyen est de 3 ans, mais qu'il est de 6 ans entre 1956 et 1959; donc, pendant cette période, la croissance apicale a été très lente. Grâce aux travaux de Blais (1961), et de Blais et Martineau (1960), on peut établir que la diminution de la croissance apicale ou l'augmentation du temps de passage est le résultat de l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette des années 50, mais il est impossible de quantifier son effet.

Parmi les facteurs qui influencent la croissance apicale, nous avons signalé plus haut les propriétés génétiques de l'espèce. Bien que nous n'ayons pas les observations sur cet aspect précis, il est raisonnable de penser, suite au travail de Robinson et Thor (1969) que la population du sapin du massif boisé est génétiquement homogène.

Finalement, la croissance apicale est un reflet de la qualité d'une station ou de sa fertilité. Pour illustrer l'effet de la qualité stationnelle sur la croissance en hauteur, nous avons reproduit à la figure 10 les courbes des accroissements courants pour l'épinette noire. Il convient de préciser que les données proviennent d'un travail antérieur (Zarnovican 1979) et d'ajouter, que la station avec l'indice de fertilité de 17 m à 100 ans est une pessière noire à mousses, drainage 2-3, texture loam argileux, altitude 180 m. Quant à la station avec l'indice de 4 m à 100 ans elle fait partie d'une pessière noire à sphaignes et éricacées, drainage 5,

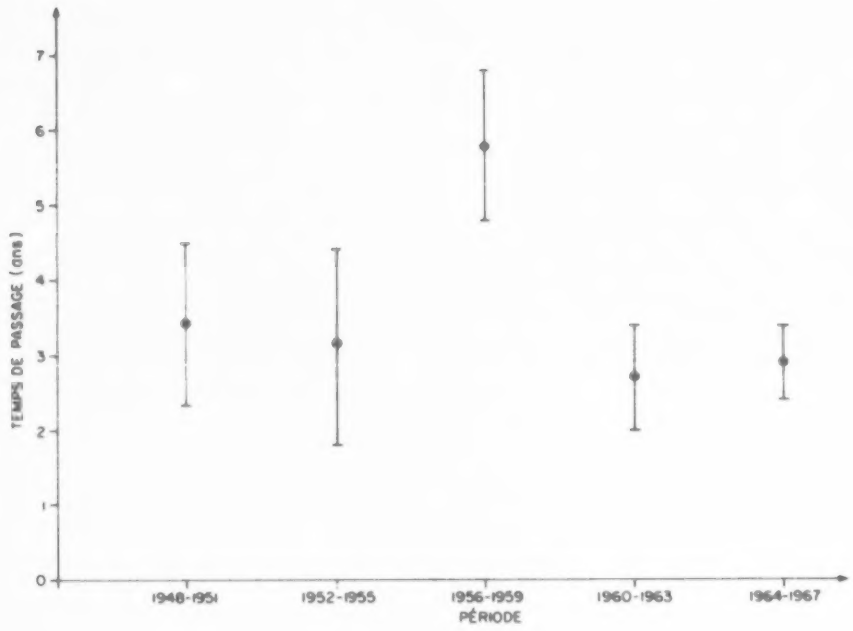

Figure 9. Temps de passage en hauteur chez le sapin baumier selon la période.

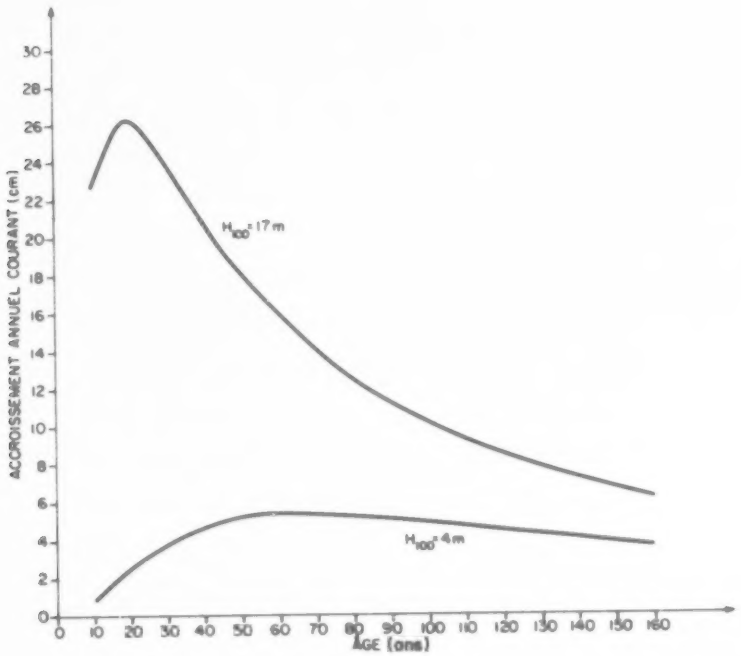

Figure 10. Accroissement annuel courant en hauteur pour l'épinette noire sur deux stations différentes.

texture limon argileux, altitude 240 m. Les deux stations font partie de la Région écologique Lac Matagami (Zarnovican *et al* ., 1976). L'examen rapide de la figure 10 permet de constater que la croissance apicale de l'épinette noire diffère selon la station, en précisant que la station avec l'indice de 17 m à 100 ans produit un accroissement annuel maximal en hauteur de 26,5 cm à 18 ans, tandis que pour la station avec l'indice de 4 m, ce même accroissement n'est que de 5,3 cm à 63 ans. Donc la qualité stationnelle se reflète directement sur la courbe de croissance apicale et notamment sur sa pente, pour la période de la pleine croissance, ce qui est comparable avec les résultats et conclusions d'autres auteurs (Beck, 1971; Curtis, 1964; Assmann, 1961).

La différence de la qualité stationnelle est indiquée par la comparaison des phases de pleine croissance seulement, puisque comparer la phase juvénile (où l'effet de la station est impossible à mesurer), avec la phase de la pleine croissance par exemple (où au contraire l'effet de la station est évident) peut donner les résultats erronés.

Établissement des courbes de fertilité

Avant d'établir la famille des courbes de fertilité, il était nécessaire d'évaluer la durée de la période d'oppression et rendre ainsi les âges physiques des arbres comparables. Pour établir l'âge nécessaire pour parvenir à une hauteur de 40 cm, nous avons utilisé les données sur la croissance en hauteur dans les conditions sans oppression, publiées par Logan (1969). Quant aux hauteurs supérieures (1,3 et 2,3 m) nous avons utilisé l'âge établi lors de notre précédent travail (Zarnovican 1981). Ainsi, nous étions en mesure de déterminer la durée de la période juvénile dans le cas de 97 tiges de sapin baumier. Le faisceau des courbes de fertilité est donc établi à partir des données sur la hauteur et l'âge de 97 individus.

L'analyse de 97 tiges a permis d'établir 1 193 couples sur la hauteur et l'âge. Par la suite, conformément à la méthode de Tveite (1969), nous avons regroupé les données sur la hauteur par classe d'âge de 5 ans,

pour définir le domaine de croissance en hauteur. Les données regroupées se trouvent au tableau 7, et le domaine est défini par cinq séries de hauteurs, qui correspondent à la hauteur moyenne plus ou moins une fois et deux fois l'écart type de la hauteur par classe d'âge. L'illustration du domaine de la croissance en hauteur, par la courbe moyenne et les courbes enveloppantes supérieure et inférieure selon l'âge, se trouve à la figure 11. Quant à l'illustration de la relation entre l'écart type et le coefficient de variation selon l'âge, elle se trouve à la figure 12. Il faut noter, à la figure 12, que le coefficient de variation se stabilise vers 20 ans pour osciller par la suite autour de 10 %.

Habituellement, on se base sur la dispersion de points autour de la courbe moyenne pour établir le faisceau des courbes d'une façon proportionnelle (Bruce et Schumacher 1950). Les coordonnées de ces courbes se calculent à l'aide de formules contenant l'écart type ou le coefficient de variation (Bolghari 1977; Décourt 1965; Cantiani 1964). Toutefois, avec l'emploi des fonctions de croissance on favorise le calcul de ces coordonnées par la fonction de croissance modifiée (Griffin et Johnson 1980; Halaj 1978; Schütz et Badoux 1979; Franz 1971; Hradetzky 1972; Schmidt 1969).

L'expression mathématique de courbes du domaine de croissance pour le sapin baumier est établie à l'aide de la fonction de Korf, mais auparavant il convient de rappeler sa forme analytique, à savoir:

$$H = C_1 \exp^{C_2/(1-C_3)T^{C_3-1}}$$

où

H est la hauteur

C_1, C_2, C_3 sont des paramètres

T est l'âge.

Cette fonction a été utilisée pour ajuster la relation entre la hauteur et l'âge de cinq courbes du domaine de croissance. Les paramètres de la fonction se trouvent au tableau 8, où nous avons ajouté aussi la hauteur calcu-

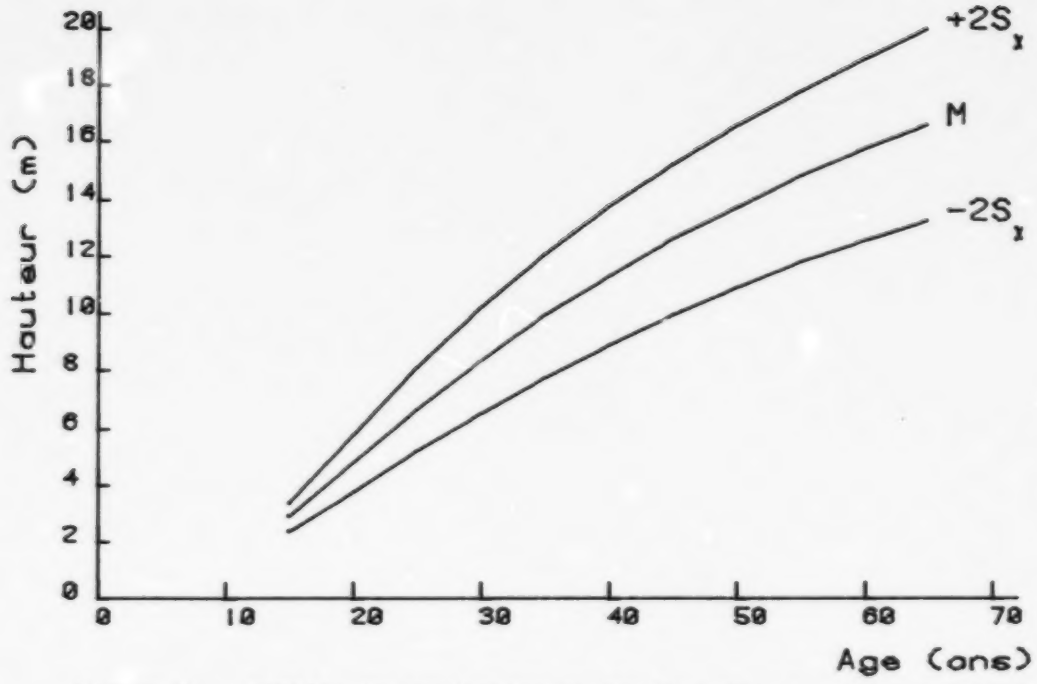

Figure 11. Domaine de croissance en hauteur chez le sapin baumier.

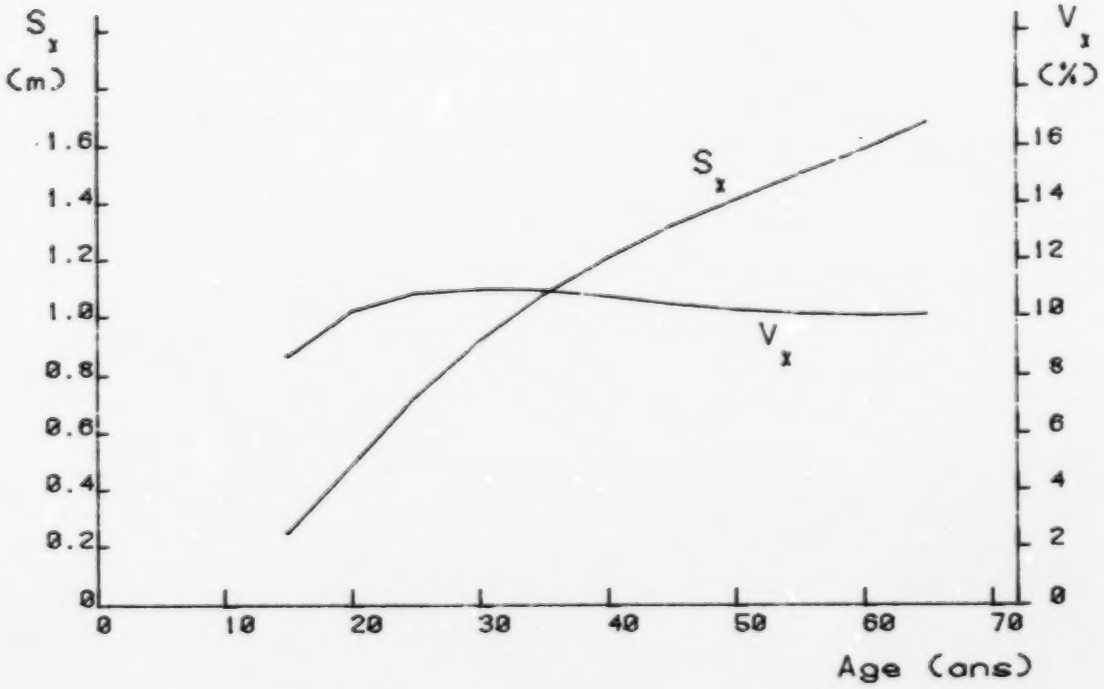

Figure 12. Variabilité de la croissance en hauteur selon l'âge.

Tableau 7. Domaine de croissance en hauteur chez le sapin baumier par classe d'âge de 5 ans

Age (ans)	Nombre d'observations	Hauteur moyenne - H_m (m)	Ecart type - s_x (m)	Coefficient de variation (%)	Hauteur $H_m + s_x$ (m)	Hauteur $H_m + s_x$ (m)	Hauteur $H_m - 2s_x$ (m)	Hauteur $H_m + s_x$ (m)
15	98	2,88	0,25	8,7	3,37	3,13	2,63	2,38
20	120	4,80	0,49	10,2	5,78	5,29	4,31	3,82
25	126	6,65	0,72	10,9	8,09	7,37	5,93	5,20
30	128	8,36	0,92	11,0	10,20	9,28	7,44	6,52
35	129	9,91	1,08	10,9	12,07	10,99	8,83	7,75
40	144	11,31	1,21	10,7	13,73	12,52	10,10	8,89
45	107	12,58	1,32	10,5	15,21	13,89	11,26	9,95
50	118	13,73	1,41	10,3	16,54	15,13	12,32	10,91
55	72	14,77	1,49	10,1	17,75	16,26	13,27	11,78
60	52	15,72	1,58	10,1	18,88	17,30	14,14	12,56
65	46	16,59	1,68	10,1	19,94	18,26	14,91	13,24
70	53	17,38	1,78	10,2	20,94	19,16	15,60	13,82
Total	1 193							

lée à 50 ans (H_{50}). Selon les résultats sur l'ajustement de distributions observées par la fonction de Korf, on peut dire que cet ajustement est précis et que la fonction elle-même est suffisamment souple pour prédire la croissance.

Avant d'établir la formulation mathématique pour chaque courbe du faisceau, nous avons analysé les relations entre les paramètres C_2 et C_3 et la hauteur calculée à 50 ans du tableau 8. Tout d'abord la relation C_2 vs H_{50} est illustrée à la figure 13, pour laquelle le meilleur modèle s'est avéré:

$$C_2 = 2{,}94882 \exp^{21{,}18007/H_{50}}$$

avec le coefficient de détermination R^2 égal à 0,998. Pour assurer une bonne compréhension, appelons les paramètres A_1= 2,94882 et A_2= 21,18007.

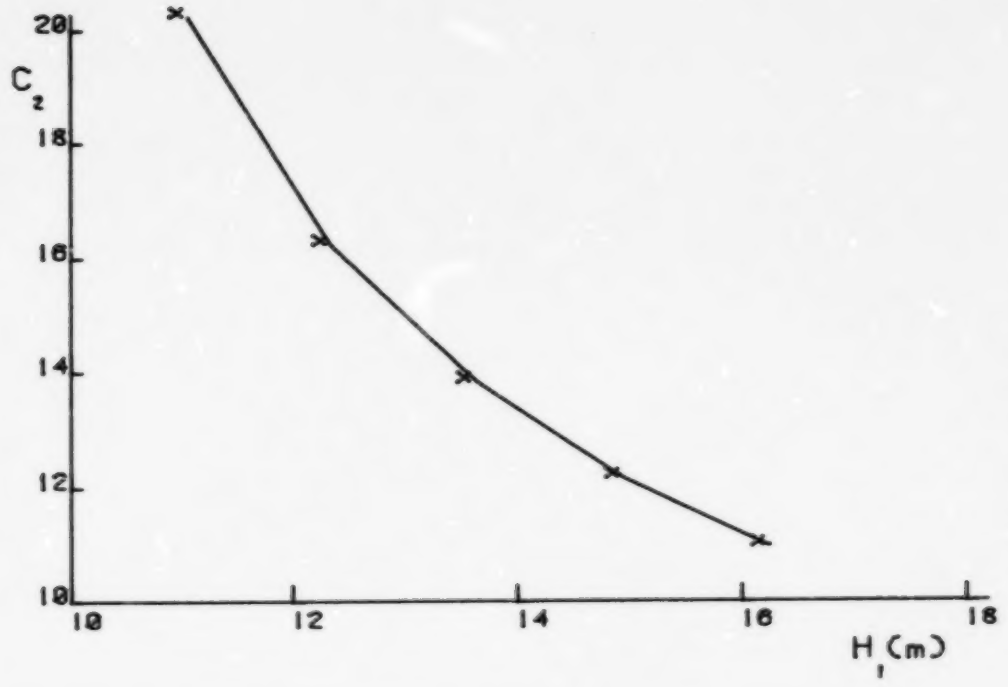

Figure 13. Expression graphique de la relation entre C_2 et H_{50}.

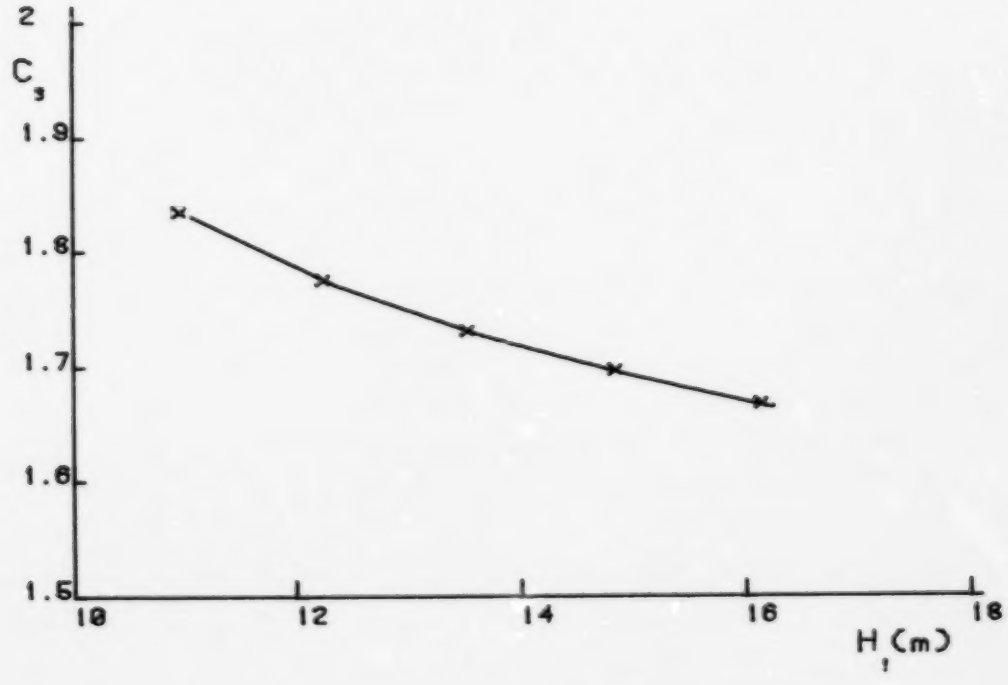

Figure 14. Expression graphique de la relation entre C_3 et H_{50}.

La relation entre le paramètre C_3 et la hauteur calculée à 50 ans (H_{50}) est illustrée à la figure 14, et la meilleure expression algébrique, grâce à la méthode des moindres carrés est la suivante:

$$C_3 = A_3 + (A_4/H_{50})$$

avec les valeurs des paramètres A_3 = 1,30688, A_4 = 5,76418 et le coefficient de détermination égal à 0,996.

Quant à l'amplitude du domaine de croissance à 50 ans, on peut remarquer qu'elle est de 11,06 à 16,24 m et qu'elle suggère les bornes pour le faisceau de courbes à l'âge de 50 ans de 11 m à 17 m. Nous l'avons divisée à intervalles d'un mètre. Grâce aux équations entre les paramètres et la hauteur à 50 ans, on peut substituer ces paramètres dans la fonction de Korf, et ainsi obtenir l'expression analytique du faisceau des courbes de hauteurs pour les indices de fertilité (I50), variant de 11 à 17 mètres à l'intervalle d'un mètre.

$$H = I50 \exp \frac{A_1 \exp A_2/H_{50}}{1-A_3-(A_4/H_{50})} \left(T^{1-A_3-(A_4/H_{50})} - 50^{1-A_3-(A_4/H_{50})} \right)$$

où

H est la hauteur calculée

I50 est l'indice de fertilité à 50 ans

T est l'âge

A_1, A_2, A_3 et A_4 sont des paramètres définis plus haut.

L'expression graphique de 7 courbes de fertilité est à la figure 15. Nous avons établi également les accroissements courants en hauteur et leur expression graphique se trouve à la figure 16. Il est à remarquer (figures 15 et 16) que la forme des courbes correspond à la forme habituelle ce qui se vérifie par les comparaisons suivantes.

La première comparaison a été faite avec quelques hauteurs observées par les analyses des tiges. Elle est illustrée à la figure 17. On

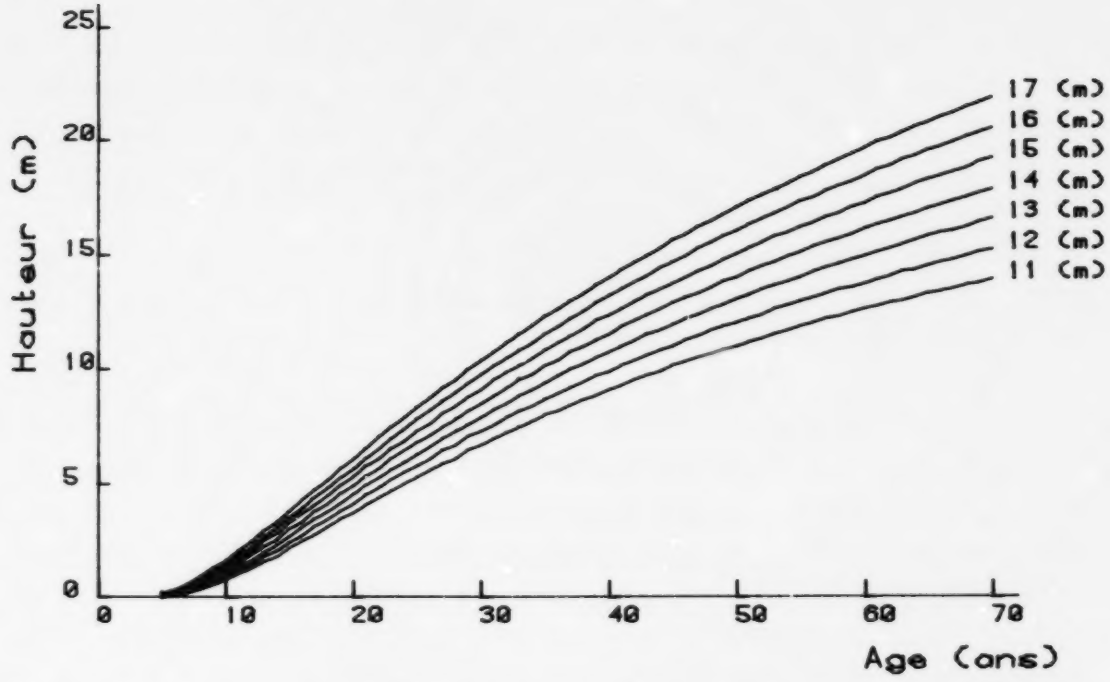

Figure 15. Courbes de fertilité pour le sapin baumier.

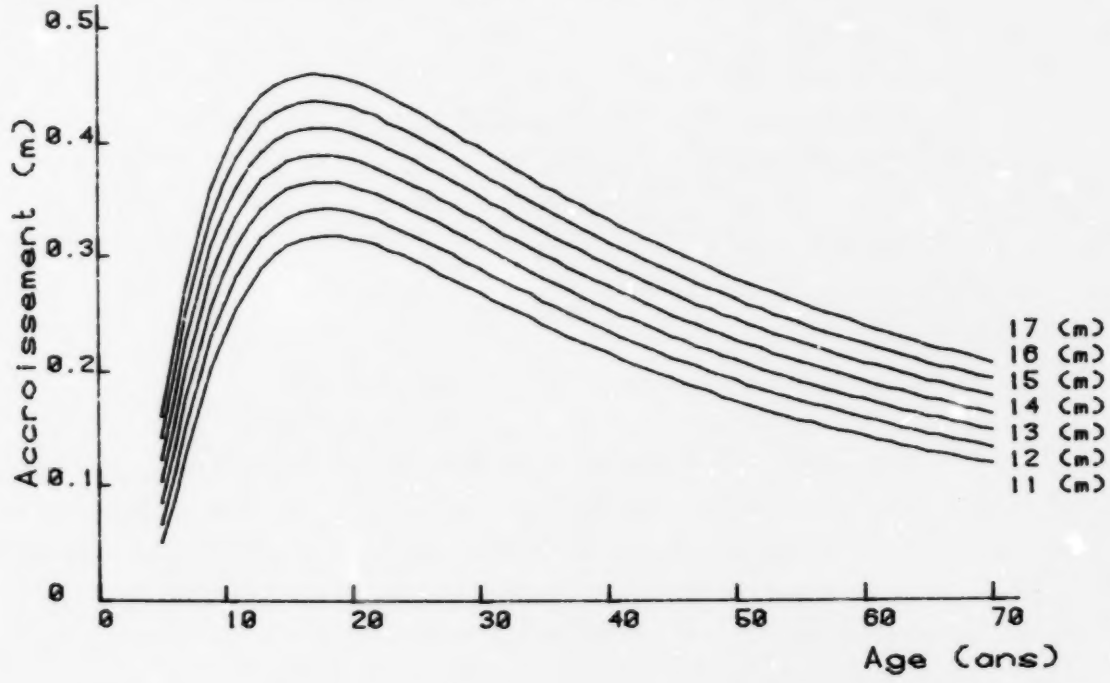

Figure 16. Courbes des accroissements annuels courants en hauteur pour le sapin baumier.

Tableau 8. Les paramètres de la fonction de Korf pour 5 courbes du domaine de croissance en hauteur chez le sapin baumier

Courbe	Paramètres					Somme des carrés de résidus	Age de culmination	
	C 1	C 2	C 3	R^2	H 50 (m)		AC (ans)	AM (ans)
H_m+2s_x	55,42569	10,95927	1,66423	0,998	16,24	4,43	17	37
H_m+s_x	48,14231	12,17426	1,69262	0,999	14,94	1,72	17	37
H_m	41,21879	13,82545	1,72710	0,999	13,64	0,28	18	37
$H_m - s_x$	34,64386	16,23897	1,77092	0,999	12,34	0,14	18	37
$H_m -2s_x$	28,39325	20,24318	1,83117	0,999	11,06	1,61	18	37

peut constater que la pente semble être la même, ainsi que la forme des courbes. La deuxième comparaison est faite entre les courbes avec I50 de 11, 14 et 17 m et les courbes de Ker pour 8 et 18 m; et les courbes de Vézina pour la première et la deuxième classe, et elle est illustrée à la figure 18. Notons au passage que les courbes des autres auteurs proviennent des tables de rendement normal. La comparaison fait ressortir la similitude entre les courbes de Vézina et les nôtres, par ailleurs les courbes de Ker surtout pour les meilleures classes, ont une pente plus prononcée, donc une croissance plus rapide, mais la culmination de la croissance apicale se produit plus rapidement aussi.

Finalement la dernière comparaison porte sur la croissance apicale par groupe coenologique. Elle a été faite dans le but de vérifier la signification de ces groupes relativement aux différences dans la croissance en hauteur et, en conséquence, relativement à la productivité. De la même manière que pour la définition du domaine de croissance, nous avons regroupé les données sur la hauteur par classe d'âge de 5 ans, mais cette fois pour les arbres qui provenaient des stations typiques, ou dominées par un groupe coenologique. Les résultats sur la croissance apicale par groupe coenologique, sous la forme de la moyenne et de l'écart type se trouvent aux tableaux 9, 10, 11. L'illustration graphique de cette croissance par groupe

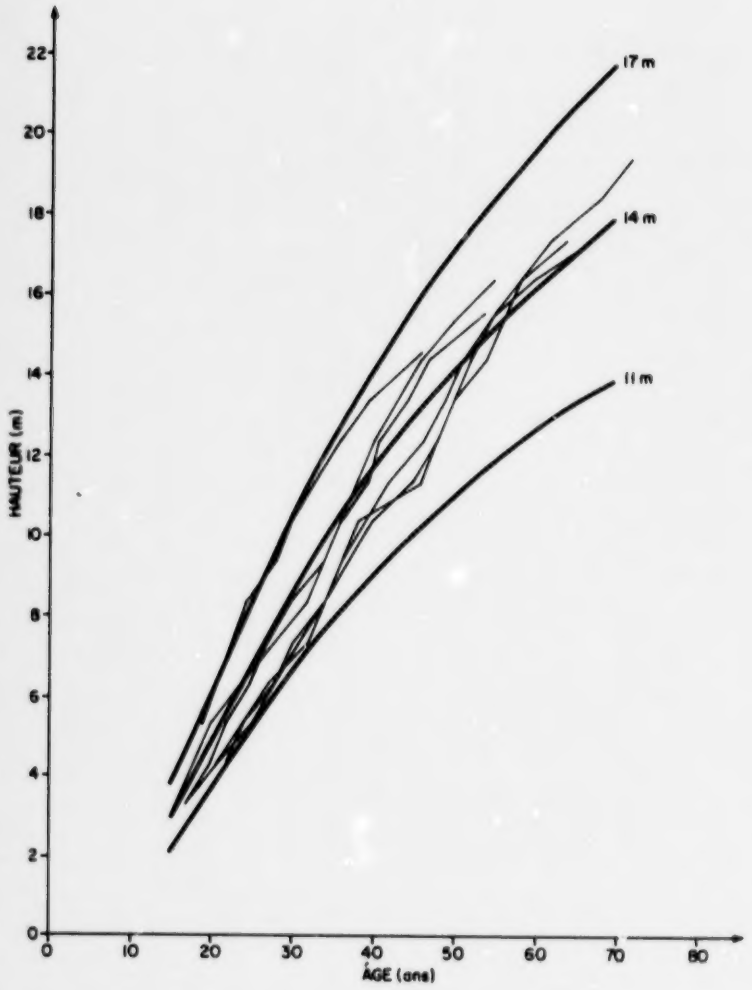

Figure 17. Comparaison des courbes de fertilité avec quelques courbes de hauteurs établies par l'analyse de tiges.

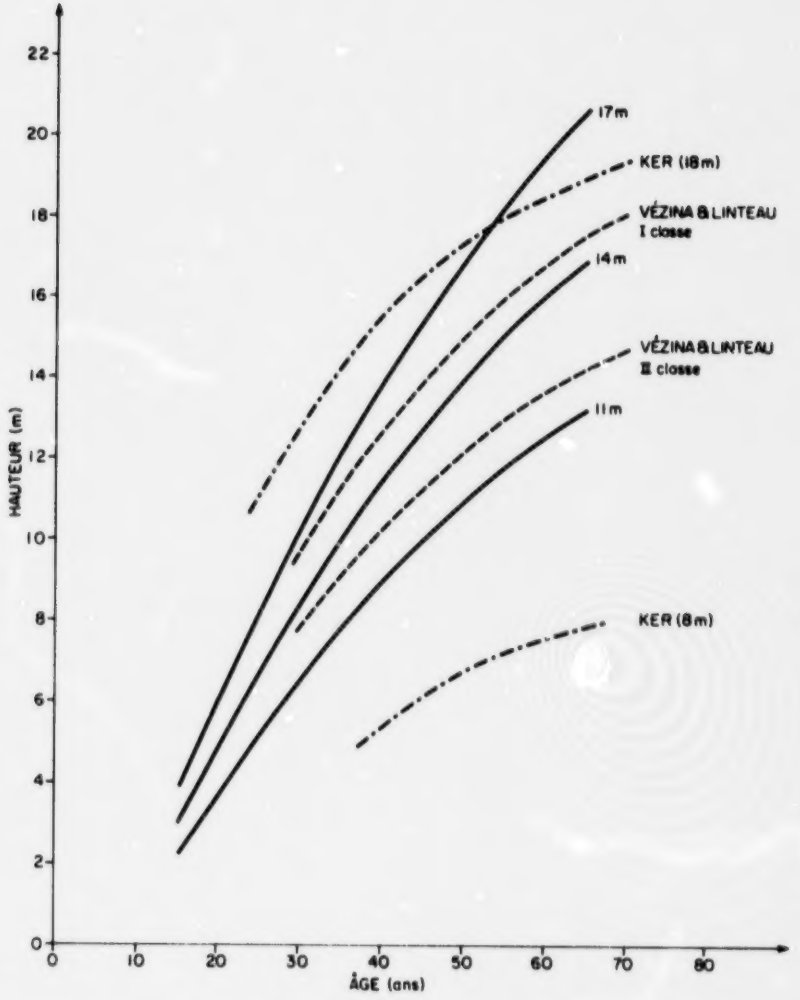

Figure 18. Comparaisonn des courbes de fertilité avec les courbes publiées par Ker (1976) et Vézina et Linteau (1968)

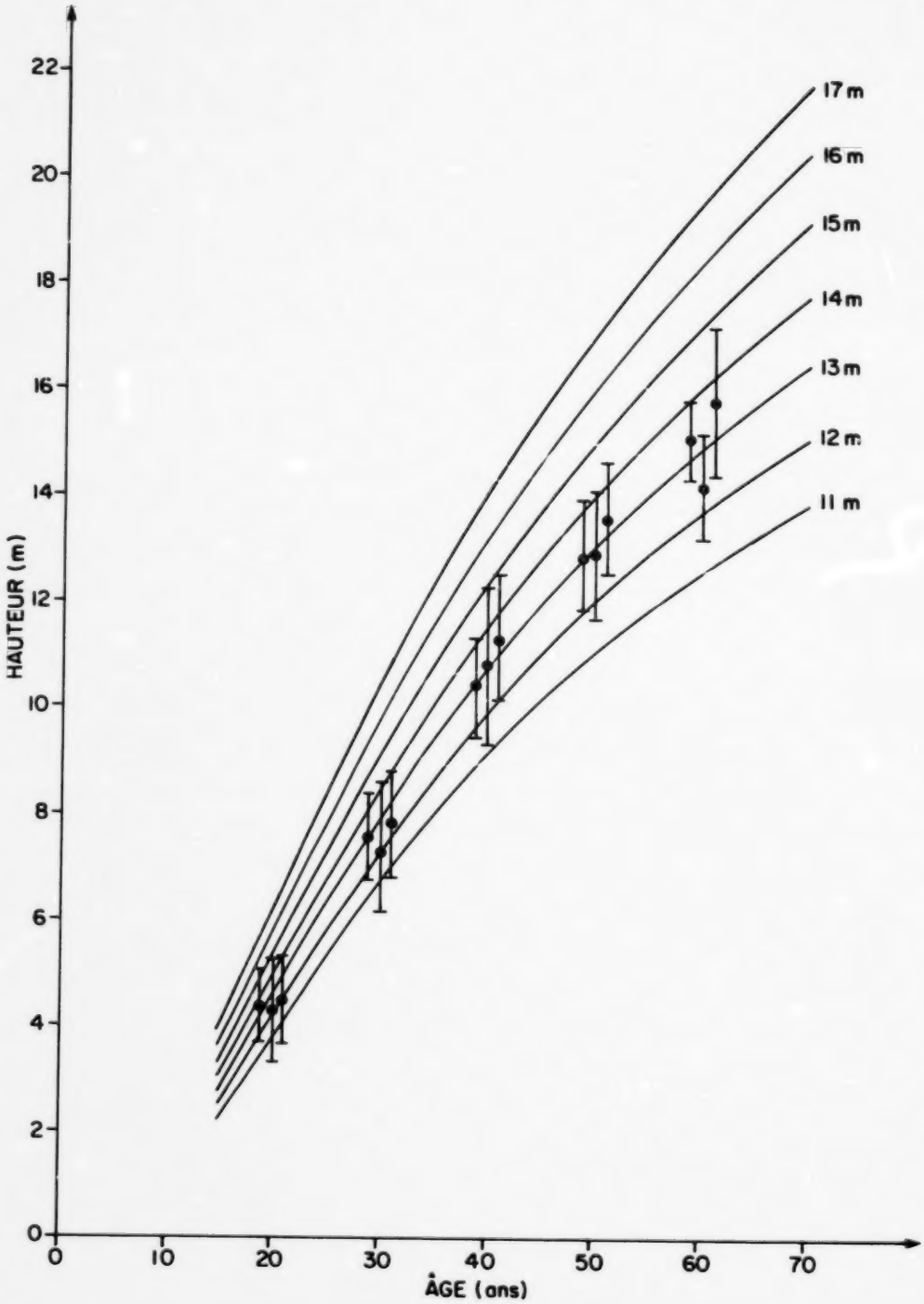

Figure 19. Croissance en hauteur d'apres les courbes de fertilité et d'après les groupes coenologiques (1er, 3e, 5e) selon l'âge.

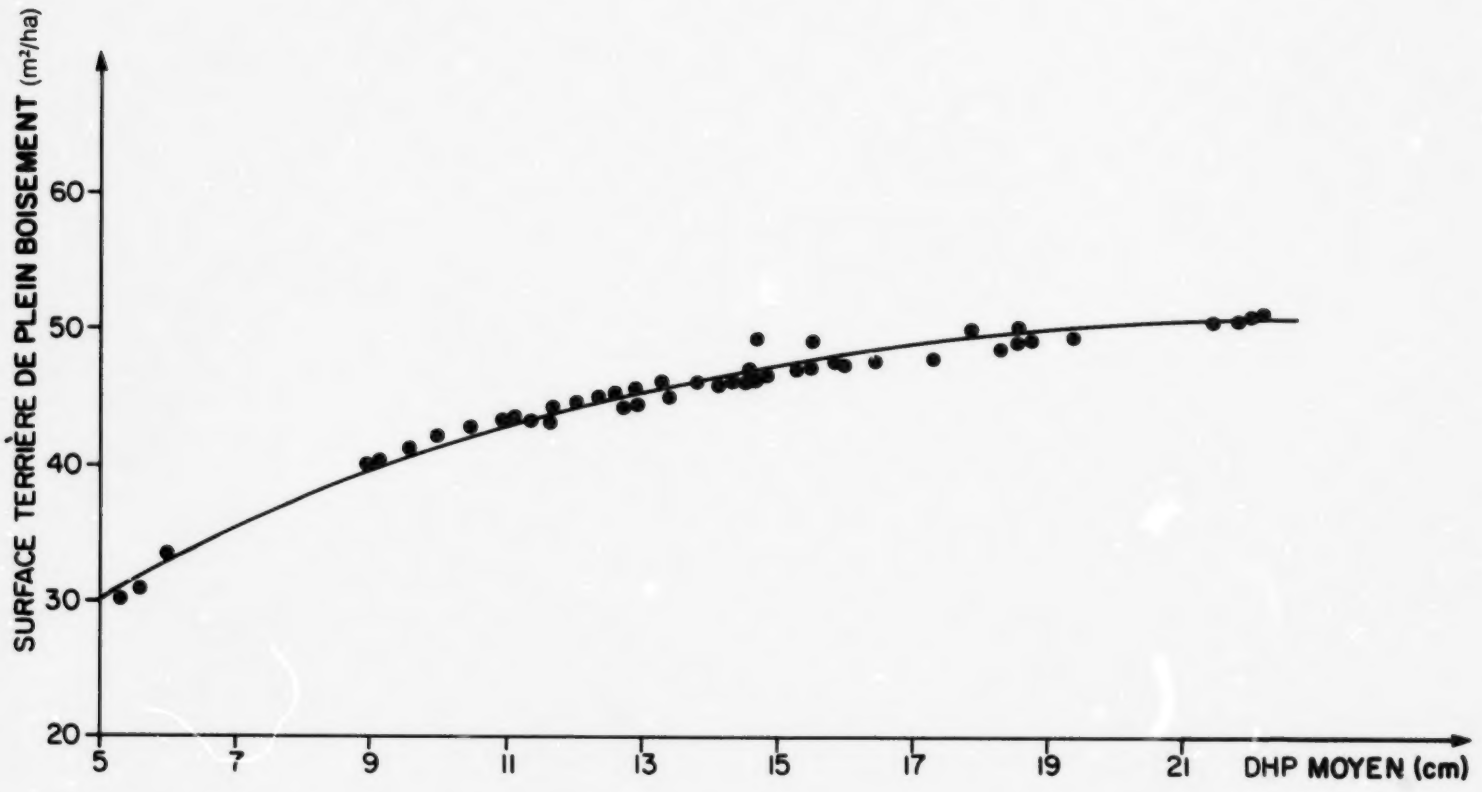

Figure 20. Niveau de production de stations d'étude, exprimé par la surface terrière de plein boisement à ha selon le dhp moyen de peuplements.

coenologique, dans l'ordre suivant: 1er, 3e et 5e groupe se trouve à la figure 19. Il ressort clairement de cette figure, que la croissance apicale entre les groupes coenologiques est pratiquement la même, et qu'il est impossible d'établir des différences statistiquement significatives.

Afin de vérifier cette dernière constatation, nous avons comparé la densité du bois sec de sapin baumier, car l'influence de la station sur la qualité du bois est généralement reconnue. Il convient de rappeler que nous avons éliminé de la comparaison l'effet de l'anisotropie, qui est due, chez le sapin baumier, d'une part, à la croissance juvénile et d'autre part aux vents dominnats. Cependant, on peut dire que l'effet d'anisotropie s'estompe dès que la hauteur de l'arbre dépasse 2 m.

Les données sur la densité du bois de sapin baumier sous forme de la moyenne et de l'écart type par groupe floristique se trouve au tableau 12. Comme on peut le constater la densité du bois de sapin baumier est pratiquement la même d'un groupe coenologique à l'autre, et il en est probablement de même pour l'effet de facteurs écologiques stationnels sur la croissance du sapin baumier. Finalement, la dernière vérification sur la validité des indices de hauteur établis plus haut porte sur la comparaison du niveau de production pour les 52 stations d'étude du massif boisé du lac Joffre. Il convient de rappeler que le niveau de production a été défini par la surface terrière à l'hectare d'un peuplement de plein boisement naturel, par rapport au dhp moyen du peuplement et, selon ces deux caractéristiques, nous avons ordonné les 52 stations à la figure 20. Il est facile de constater qu'elles s'ordonnent parfaitmeent, pour mettre en évidence un seul niveau de production et à notre avis une même qualité stationnelle.

Tableau 9. Croissance en hauteur du sapin baumier dans les stations typiques ou dominées par le premier groupe coenologique exprimée par la hauteur moyenne selon la classe d'âge de 5 ans

Classe d'âge (ans)	Hauteur moyenne (m)	Ecart type (m)	Nombre d'observations
15	2,71	0,50	37
20	4,36	0,67	36
25	5,98	0,78	37
30	7,58	0,81	32
35	8,86	0,80	27
40	10,36	0,92	34
45	11,62	0,95	25
50	12,85	1,08	23
55	13,70	1,19	21
60	15,07	0,75	16
		Total	288

Tableau 10. Croissance en hauteur du sapin baumier dans les stations typiques ou dominées par le troisième groupe coenologique, exprimée par la hauteur moyenne selon la classe d'âge de 5 ans

Classe d'âge (ans)	Hauteur moyenne (m)	Ecart type (m)	Nombre d'observations
15	2,78	0,65	25
20	4,26	0,96	26
25	5,63	1,14	27
30	7,30	1,29	31
35	8,94	1,45	33
40	10,78	1,48	27
45	11,68	1,32	21
50	12,93	1,20	17
55	13,95	1,25	13
60	14,22	1,00	12
		Total	232

Tableau 11. Croissance en hauteur du sapin baumier dans les stations typiques ou dominées par le cinquième groupe coenologique, exprimée par la hauteur moyenne et la classe d'âge de 5 ans

Classe d'âge (ans)	Hauteur moyenne (m)	Ecart type (m)	Nombre d'observations
15	2,66	0,49	28
20	4,44	0,80	36
25	6,23	0,96	29
30	7,82	1,03	30
35	9,52	1,14	30
40	11,30	1,17	20
45	12,49	1,18	16
50	13,59	1,06	14
55	14,39	1,32	10
60	15,80	1,41	8
		Total	221

Tableau 12. Densité du bois de sapin baumier selon le groupe coenologique

Groupe coenologique	Nombre d'observations	Densité du bois		Coefficient de variation (%)
		Moyenne (g/cm^3)	Ecart type (g/cm^3)	
1er groupe	87	0,359	0,041	11,4
3e groupe	57	0,350	0,032	9,1
5e groupe	51	0,346	0,028	8,1

CONCLUSION

L'examen des principales caractéristiques dendrométriques de 52 stations permet de constater que cet ensemble forme une série de croissance. Selon la structure diamétrale des stations d'études, il apparaît que les peuplements du sapin baumier se régularisent avec le temps, pour former ainsi des peuplements pratiquement normaux. La comparaison de nos résultats avec les données observées de Vézina et Linteau (1968) et de Ker (1976) pour le sapin baumier révèle une ressemblance remarquable, par contre elle met en évidence des différences notables par rapport aux données rapportées par Boudoux (1978).

L'examen de la croissance apicale chez le sapin baumier a permis d'établir que l'influence de la position sociale de l'arbre est notable et elle se reflète sur la durée de la période juvénile et sur l'âge physique de l'arbre. De plus on a pu mettre en évidence que l'effet des épidémies d'insectes sur cette croissance, bien que difficilement mesurable, est à notre avis déterminant.

La comparaison de la croissance apicale par groupe coenologique ne permet pas d'inférer au groupe coenologique ce pouvoir explicatif sur la productivité des stations; ce qui est confirmé par la comparaison sur la densité du bois. D'après les résultats sur la synécologie de trois groupes coenologiques, force nous est de constater que les groupes, tout au moins pour la région étudiée, ne représentent que des phases normales de l'évolution d'une sapinière dans le temps.

Il apparaît que l'approche utilisée pour l'établissement du domaine de la croissance, et des courbes de fertilité, est logique et relativement simple. Selon les résultats obtenus, on peut dire que la fonction de Korf est assez souple pour être utilisée comme un modèle prédictif d'un processus de croissance. Bien que le domaine de la croissance en hauteur à 50 ans est suffisamment grand pour refléter plusieurs classes de fertilité, la comparaison de la croissance en hauteur dans les principaux groupes

floristiques, et la comparaison de la densité du bois ne les confirment pas. De plus, l'examen du niveau de production et de la hauteur réduite de 52 stations d'études indique que la qualité stationnelle est pratiquement la même pour l'ensemble des sapinières considérées et que les courbes de fertilité ne reflètent que la variabilité dans la croissance en hauteur, laquelle est probablement due aux épidémies répétées de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et de ses conséquences.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier MM. Jean-Baptiste Breton et Jean-Louis Bélair pour leur assistance technique lors des travaux sur le terrain et de la compilation des résultats. De plus, nous adressons nos plus vifs remerciements à M. Jacques Trencia pour ses conseils lors de la correction du texte.

RÉFÉRENCES

Assmann, E. 1955. Die Bedeutung des "erweiterten Eichhornschen Gesetzes" für die Konstruktion von Fichten-Ertragstafeln. Forstwiss. Cbl., 74:321-330.

Assmann, E. 1961. Waldertragskunde. BLV München, 490 p.

Assmann, E. 1965. Die Schätzung jetziger und künftiger Ertragsleistungen. Forstwiss. Cbl., 85:355-371.

Assmann, E. 1974. Zum Begriff "Ertragsniveau". Forstwiss. Cbl., 93:177-179.

Assmann, E.; Franz, F. 1963. Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. München, Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt, 104 p.

Badoux, E. 1969. Les tables de production. La Forêt. 232:30-35.

Beck, D.E. 1971. Height-growth patterns and site index of white pine in the southern Appalachians. For. Sci. 17:252-260.

Blais, J.R. 1961. Spruce budworm outbreaks in the Lower St. Lawrence and Gaspé Regions. For. Chron. 37:192-202.

Blais, J.R.; Martineau, R. 1960. A recent spruce budworm outbreak in the Lower St. Lawrence and Gaspé with reference to aerial spraying operation. For. Chron. 36:209-224.

Bolghari, H.A. 1977. Hauteur dominante et indices de qualité des stations dans les plantations d'épinette blanche et de Norvège. Nat. Can. 104:475-484.

Bolghari, H.A.; Vézina, P.-E. 1974. Estimation de l'accroissement et de la production des sapinières de diverses densités. Qué. Minist. Terres For., Serv. Rech. Mém. n° 18.

Bolghari, H.A.; Vézina, P.-E. 1975. L'influence de quelques caractéristiques du peuplement et du milieu sur la croissance en volume du sapin baumier et de l'épinette noire au Québec. Nat. Can. 102:339-352.

Boudoux, M. 1978. Tables de rendement empirique pour l'épinette noire, le sapin baumier et le pin gris du Québec. Qué. Minist. Terres For., Serv. Inf. 101 p.

Boudoux, M.; Bonenfant, F. 1979. SACADOS. Système automatique conversationnel d'analyse de données Statistiques. Environ. Can., Serv. Can. For., Cent. Rech. For. Laurentides, Sainte-Foy, Qué. Rapp. Inf. LAU-X-39. 22 p.

Bradley, R.T.; Christie, J.M.; Johnson, D.R. 1966. Forest Management Tables. Booklet 16, For. Comm., London, 218 p.

Bruce, D.; Schumacher, F. 1950. Forest mensuration. McGraw-Hill. New York, 483 p.

Busby, J.R.; Bliss, L.C.; Hamilton C.D. 1978. Microclimate control of growth rates and habitats of the boreal mosses, *Tomenthypnum nitens* and *Hylocomium splendens*. Ecological Monographs 48: 95-110.

Cantiani, M. 1964. Tavola alsometrica delle pinete de laricio dell'Etna. [tables de productions pour le Pin laricio d'Etna]. [En Italien]. L'Ital. For. e Montana, 1:98-115.

Carmean, W.H. 1979. A comparison of site curves for northern hardwood species. U.S. Dept. Agric. For. Serv., North Cent. For. Exp. Stn., St.Paul, Minnesota. Res. Pap. NC-167, 12 p.

Commission Canadienne de Pédologie, Comité de la classification des sols. 1978. Le système canadien de classification des sols. Can. Minist. Agric. publ. n° 1646. 170 p.

Curtis, R.O. 1964. A Stem-Analysis approach to site-index curves. For. Sci. 10: 241-256.

Decourt, N. 1965. Le Pin sylvestre et le Pin laricio de Corse en Sologne. Tables de production provisoires et méthodes utilisées pour les construire. Ann. Sci. forest., 22:257-318.

Decourt, N. 1973. Production primaire, production utile: Méthodes d'évaluation, indices de productivité. Ann. Sci. forest., 30: 219-238.

Dixon, W.T. 1977. BMDP, Biomedical Computer Programs, P-Series, Univ. Calif. Press, Berkeley, Calif.

Duchovnikov, J. 1972. Tablici za bonitirane na belborovi nasazdenia po gospod-stvuvascata visocina. [Les tables d'évaluation pour les pinèdes selon la hauteur]. [En Bulgare]. Gorsko stopanstvo 28:24-28.

Franz, F. 1971. Grundlagen und Verfahren standortbezogener Leistungsschätzung. Forstl. Forschungsanstalt, München, Nr. 2, 316 p.

Gagnon, R.M. 1970. Climat des Chic-Chocs. Qué. Minist. Rich. Nat. 103 p.

Gobeil, A.R. 1938. Dommages causés aux forêts de la Gaspésie par les insectes. Qué. Minist. Terres For., Serv. Ent. Bull. n° 2. 16 p.

Griffin, R.H.; Johnson, J.E. 1980. Polymorphic site index curves for spruce and balsam fir growing in even-aged stands in Northern Maine. Life Sci. Agric. Exp. Stn., School For. Resour., Univ. Gutte Maine, Orono, Me. Bull. 765.

Guttenberg, A.R. 1915. Wachstum und Ertrag der Fichte im Hochgebirge. Franz Deuticke, Wien und Leipzig, 156 p.

Halaj, J. 1978. Vyskovy rast a struktura porastov. [La croissance en hauteur et la structure des peuplements. [En Slovaque]. Slov. Akad. Vied, Bratislava 284 p.

Hamilton, G.J.; Christie, J.M. 1973. Forest Management Tables. Booklet 34, For. Comm. London. Booklet 34. 201 p.

Heger, L. 1968. A method of constructing site index curves from stem analysis. For. Chron. 44:11-15.

Hradetzky, J. 1972. Modell eines integrierten Ertragstafel-Systems in modularer Form. Inaugural-Dissertation, Freiburg i. Br. 172 p.

Jurdant, M. 1964. Carte phytosociologique et forestière de la Forêt expérimentale de Montmorency. Can. Minist. For. Publ. 1946. 73 p.

Ker, M.F. 1976. Metric yield tables for the major forest cover types of Newfoundland. Environ. Can., Can. For. Serv., Nfld. For. Res. Cent., Inf. Rep. N-X-141.

Korf, V. 1953. Dendrometrie. [Dendrométrie]. [En Tchèque]. Stat. zem. nakl., Praha, 327 p.

Lafond, A. 1967. Notes pour l'identification des types forestiers des concessions de la Québec North Shore, Paper Co., 3e édition. Imprimerie Laize Ltée., Hauterive, Qué. 93 p.

Lebuis, J.; David, P.P. 1977. La stratigraphie et les événements du quaternaire de la partie occidentale de la Gaspésie, Québec. Géogr. Phys. Quat. 21:275-296.

Linteau, A. 1957. Classification des stations forestières de la Section des Conifères du Nord-Est, Région des Forêts Boréales, Québec. Can. Dep. North. Aff. Nat. Resour., For. Br., Bull. No. 118. 85 p.

Logan, K.T. 1969. Growth of trees seedlings as affected by light intensity. IV. Black spruce, White spruce, Balsam fir, and Eastern White cedar. Dep. Fish. For., Can. For. Serv., Publ. No. 1256. 12 p.

Martineau, R. 1943. Population studies of the European spruce sawfly (*Gilpinia hercyniae* Htg.) in Québec. For. Chron. 19:87-107.

McKeague, J.A. 1977. Manuel de méthodes d'échantillonnage et d'analyse des sols, Sous-comité des méthodes d'analyse, Comission canadienne de pédologie, 223 p.

Panek, F. 1976. Construction of the site class curves by means of Korf's equation. Les. Cas. 22:129-139.

Piene, H. 1978. Effects of increased spacing on carbon mineralisation rates and temperature in a stand of young balsam fir. Can. J. For. Res. 8:398-406.

Popovich, S. 1974. Volume par unité de surface terrière, comme moyen d'évaluer la productivité de stations et la production des plantations d'épinette blanche au Québec. Can. J. For. Res. 4:127-137.

Robinson, J.F., Thor, E. 1969. Natural variation in Abies of the Southern Appalachians. For. Sci. 15:239-245.

Rowe, J. 1972. Forest Regions of Canada, Can. Dep. Environ., Can. For. Serv., Publ. No. 1300, 172 p.

Schmidt, A. 1969. Der Verlauf des Höhenwachstums von Kiefern auf einigen Standorten der Oberfalz. Forstwiss. Centralbl. 88:33-40.

Schütz, J.-Ph.; Badoux, E. 1979. Production de jeunes peuplements de chênes en relation avec la station. Mitt. schweiz. Centralanst. Forstl. Wersuchswes. 55(1): 177 p.

Schwappach, A. 1902. Unterschungen über Wachstum und Ertrag normaler Fichtenbeständes in Preussen. Neudamm Verlag, Berlin. 199 p.

Tesch, S.D. 1981. The evolution of forest yield determination and site classification. For. Ecol. Manage. 3:169-182.

Tveite, B. 1969. A method for construction of site-index curves. Medd. Nor. Skogforsoksves. 97:132-159.

Veuilleux, J.-M.; Sheedy, G. 1978. Projet interprovincial de fertilisation des forêts naturelles. I-Effets de la fertilisation sur quelques caractéristiques de sept sapinières en Gaspésie. Qué. Minist. Terres For. Serv. Rech. Mém. n° 45.

Vézina, P.-E.; Linteau, A. 1968. Growth and yield of balsam fir and black spruce in Quebec. Can. For. Res. Lab. Inf. rep. Q-X-2.

Villeneuve, P. 1971. Calcul de l'erreur d'échantillonnage. Qué. Min. Terres For. Serv. Rech. Mém. n° 5.

Zarnovican, R. 1979. Fonction de la croissance de Korf. For. Chron. 55:194-197.

Zarnovican, R. 1981. A propos de l'âge du sapin baumier et de sa détermination. Can. J. For. Res. 11:805-811.

Zarnovican, R. 1982. Examen de quelques relations allométriques chez le sapin baumier et l'épinette blanche. Can. J. For. Res. 12:171-180.

Zarnovican, R.; Gerardin, V.; Ducruc, J.P.; Jurdant, M; Audet, G. 1976. Les régions écologiques du territoire de la Baie James. Environ. Can. Rapp. ETBJ n°, 28, Env. Can.-SDBJ. 12. p.